ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE
ANNÉE 1984 N° 47

ÉTUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES APPORTÉES PAR LA COQUE DE FEVEROLLE SUR L'ALIMENTATION DU CHIEN

THÈSE

POUR LE DOCTORAT VÉTÉRINAIRE
DIPLÔME D'ÉTAT

présentée et soutenue publiquement en 1984
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse

par

Jean-François COLLOBERT
Né le 19 septembre 1959 à PARIS (19ème)

Jury :

Président : M. FEDOU
Professeur à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse

Assesseurs : M. GRIESS
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

M. FALIU
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Association des Élèves
E. N. V. T.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547620_0063

ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE
ANNÉE 1984 N° 47

ÉTUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES APPORTÉES PAR LA COQUE DE FEVEROLLE SUR L'ALIMENTATION DU CHIEN

THÈSE

POUR LE DOCTORAT VÉTÉRINAIRE
DIPLÔME D'ÉTAT

présentée et soutenue publiquement en 1984
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse
par

Jean-François COLLOBERT
Né le 19 septembre 1959 à PARIS (19ème)

Jury :

Président : M. FEDOU
Professeur à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse

Assesseurs :
M. GRIESS
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse
M. FALIU
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Association des Élèves
E. N. V. T.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

Directeur ..... M. LAUTIE
Directeur honoraire ..... M. FLORIO
Professeurs honoraires ..... MM. BRIZARD
SAURAT
GODFRAIN

PERSONNEL ENSEIGNANT

CHAIRE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE

Professeur titulaire ..... Mme BURGAT-SACAZE
Maître-Assistant ..... M. PETIT

Pharmacie et Toxicologie

CHAIRE DE PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES

Professeur titulaire ..... MM. RICO
Professeur sans chaire ..... BRAUN
Maître-Assistant agrégé ..... BENARD

Physique biologique et médicale
Chimie biologique et médicale
Informatique biologique et médicale

CHAIRE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

Professeur titulaire ..... MM. PAVAUX
Maître-Assistant Agrégé ..... LIGNEREUX
Maître-Assistant Agrégé ..... SAUTET

Organogénèse – Tératologie
Anatomie générale – Anatomie appliquée

CHAIRE DE PHYSIOLOGIE, PHARMACODYNAMIE ET THERAPEUTIQUE

Professeur titulaire ..... MM. RUCKEBUSCH
Professeur sans chaire ..... FARGEAS
Maître-Assistant Agrégé ..... TOUTAIN

Physiologie – Pharmacodynamie
Thérapeutique

CHAIRE D'HISTOLOGIE – ANATOMIE PATHOLOGIQUE

Professeur titulaire ..... MM. VAN HAVERBEKE
Professeur sans chaire ..... CABANIE
Maître-Assistant Agrégé ..... MAGNOL

Histologie – Embryologie
Anatomie Pathologique – Clinique

CHAIRE D'HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE

Professeur titulaire ..... MM. LABIE
Maître de conférences ..... EECKHOUTTE
Maître-Assistant Agrégé ..... Mme BENARD

Hygiène, Inspection, Contrôle et
Technologie des denrées alimentaires
d'origine animale – Clinique

CHAIRE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES

Professeur titulaire ..... MM. DORCHIES
Maître de Conférences ..... FRANC
Maître-Assistant Agrégé ..... DUCOS DE LAHITTE

Zoologie appliquée – Ecologie
Parasitologie externe – Dermatologie
Parasitologie interne – Clinique

CHAIRE DE SEMIOLOGIE ET PATHOLOGIE MEDICALE DES EQUIDES ET CARNIVORES ET DE LEGISLATION

Professeur titulaire ..... MM. LESCURE
Maître de Conférences ..... GUELFI
Maître-Assistant agrégé ..... REGNIER

Sémiologie et Pathologie Médicale des
Equidés et Carnivores
Législation Vétérinaire et Déontologie Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE MEDICALE DU BETAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR

Professeur titulaire ..... MM. TOURNUT
Maître de Conférences ..... BEZILLE
Maître-Assistant ..... JOUGLAR

Sémiologie et Pathologie Médicale
du Bétail et des animaux de basse-cour
Clinique – Consultation itinérante

CHAIRE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE

Professeur titulaire ..... MM. CAZIEUX
Maître de Conférences ..... GENEVOIS
Maître-Assistant Agrégé ..... AUTEFAGE
Maître Assistant ..... FAYOLLE

Propédeutique et Sémiologie chirurgicale
Radiologie – Technique chirurgicale
Anesthésiologie – Pathologie chirurgicale
Traumatologie – Podologie orthopédique – Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION

Professeur titulaire ..... MM. FERNEY
Professeur sans chaire ..... ROYAL
Maître-Assistant ..... BERTHELOT

Pathologie de l'appareil génital et de la mamelle
Sémiologie et propédeutique
Pathologie de la Reproduction
Obstétrique et pathologie du nouveau-né
Clinique – Consultation itinérante

CHAIRE DE MALADIES CONTAGIEUSES – ZOONOSES LEGISLATION SANITAIRE

Professeur titulaire ..... MM. CHANTAL
Maître-Assistant ..... PICAVET
Maître-Assistant ..... LACHERETZ

Epidémiologie – Maladie Contagieuses
Zoonoses – Législation sanitaire – Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE GENERALE – MICROBIOLOGIE – IMMUNOLOGIE

Professeur titulaire ..... MM. LAUTIE
Maître de Conférences ..... EUZEBY
Maître-Assistant ..... MILON

Microbiologie – Immunologie
Pathologie Générale

CHAIRE D'ELEVAGE ET ECONOMIE

Professeur titulaire ..... MM. QUEINNEC
Professeur sans chaire ..... DARRE
Maître-Assistant ..... Mme QUEINNEC

Ethnologie – Génétique animale
Extérieur – Zootechnie et économie générales
Ethologie appliquée, Sciences, Techniques
Economie de l'Elevage et des Productions animales
Insémination artificielle – Organisation de l'Elevage

CHAIRE D'ALIMENTATION

Professeur titulaire ..... MM. FALIU
Professeur sans chaire ..... GRIESS
Maître-Assistant ..... ENJALBERT

Botanique appliquée et bromatologie
Agronomie – Alimentation

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

MM. les Professeurs ANGELIER, ARMENGAUD, COMBES, COMBRET, CROS, FERNET et MAZENC.

La Faculté et l'Ecole déclarent n'être pas responsables des opinions émises par les candidats (délibération de la Faculté en date du 10 Mai 1891 et du Conseil de l'Ecole en date du 13 Juin 1924.

ETUDE DE L'INFLUENCE DES FIBRES APPORTEES PAR LA COQUE DE FEVEROLLE SUR L'ALIMENTATION DU CHIEN

A NOTRE PRESIDENT DE THESE,

Monsieur le Professeur FEDOU,
de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Qui nous a fait le grand honneur de présider notre jury de thèse.

Hommage respectueux.

A NOTRE JURY DE THESE

Monsieur le Professeur GRIESS,
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Qui nous a suggéré ce travail et dirigé au cours de son élaboration.

En remerciements de l'accueil bienveillant qu'il nous a toujours réservé.

Monsieur le Professeur FALIU
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Qui nous a accueilli dans son service et a bien voulu accepter de faire partie de notre jury de thèse.

Hommage respectueux.

Nous remercions le personnel du Laboratoire du Service d'Alimentation, en particulier Madame NICOT qui nous a aidé dans la mise au point des analyses des fibres.

Nous remercions également le Docteur ENJALBERT, Maître Assistant, pour le modèle d'interprétation statistique des résultats.

- P L A N -

INTRODUCTION ..... p. 1

Première Partie : LES FIBRES ..... p. 3

A. - LA DEFINITION DES FIBRES ..... p. 3
1. - La "fibre brute" ou "crude fiber" ..... p. 3
2. - La "fibre alimentaire" ou "dietary fiber" ..... p. 3
3. - La nature chimique des fibres ..... p. 4

B. - LA CHIMIE DES FIBRES ..... p. 5
1. - Les polysaccharides de structure ..... p. 5
a) La cellulose
b) Les hémicelluloses
c) Les pectines
2. - Les polysaccharides de réserve ..... p. 6
a) Les gommes et mucilages
b) L'amidon
3. - La lignine ..... p. 6

C. - LES PROPRIETES PHYSIQUES DES FIBRES ..... p. 9
1. - Adsorption d'eau ..... p. 99
2. - Capacité d'échanges cationiques ..... p. 9
3. - Absorption des composés organiques ..... p. 10
4. - Rôle de filtre ..... p. 10
5. - Attaque bactérienne ..... p. 11

D. - INTERET DES FIBRES ..... p. 11
1. - Les bases de l'utilisation des fibres ..... p. 11
2. - Les fibres alimentaires en pathologie humaine ..... p. 12
3. - Les fibres alimentaires et la pathologie du chien ..... p. 13

Deuxième Partie : LES FIBRES ALIMENTAIRES ET LA DIGESTION ..... p. 17

A. - MOTRICITE DU TUBE DIGESTIF - ADAPTATION ANATOMOFONCTIONNELLE .... p. 17
1. - Estomac ..... p. 17
2. - Intestin grêle ..... p. 17
3. - Gros intestin ..... p. 18
4. - Conclusion ..... p. 18

B. - LA DIGESTIBILITE DES FIBRES ..... p. 18
1. - Digestion enzymatique : destruction des fibres ..... p. 18
2. - Produits formés ..... p. 19
3. - Destin des produits formés ..... p. 19

C. - INFLUENCE DES FIBRES SUR LA DIGESTIBILITE D'AUTRES ELEMENTS ..... p. 20
1. - Métabolisme protidique ..... p. 20
2. - Métabolisme lipidique ..... p. 20
3. - Métabolisme glucidique ..... p. 21
4. - Métabolisme des vitamines ..... p. 21
5. - Métabolisme des minéraux ..... p. 21
a) Calcium
b) Zinc
c) Fer
d) Magnésium

e) Cuivre
f) Phosphore
g) Sodium
6. - Métabolisme des médicaments..... p. 23
7. - Adsorption d'eau..... p. 23

D. - LA BALANCE ENERGETIQUE..... p. 23
1. - Apport énergétique des fibres..... p. 24
2. - Utilisation énergétique de la ration..... p. 24

Troisième Partie : PARTIE EXPERIMENTALE..... p. 25

A. - MATERIEL ET METHODE..... p. 25
1. - Le protocole expérimental..... p. 25
a) Les chiens
b) Les régimes
c) Rationnement et protocole quotidien
α) Distribution d'eau et d'aliments
β) Protocole quotidien
2. - Méthodes de détermination des fibres dans les aliments et les fèces..... p. 30
a) But
b) Problèmes rencontrés
α) Les protéines
β) L'amidon
γ) Les tannins : la succession NDF puis ADF
δ) Les lipides
c) Méthodes envisagées
α) Action de la chaleur
β) Action de la trypsine
γ) Action de l'α-amylase
γ_1) La quantité d'α-amylase
γ_2) Le temps d'action
d) Méthodes adoptées
α) Les fèces
β) Les aliments
e) Discussion à propos des réactifs
α) Le décahydronaphtalène
β) Le sulfite
γ) Le cétyltriméthylammonium
δ) L'amylase bactérienne

B. - RESULTATS ET DISCUSSION..... p. 42
1. - Le comportement des chiens..... p. 42
a) Etat de santé
b) Niveau d'ingestion
2. - Les urines..... p. 44
3. - Les fèces..... p. 44
a) Observations
b) Teneur des fèces en matière sèche
c) Les autres constituants des fèces
d) La quantité quotidienne de fèces émises
4. - La digestibilité des aliments..... p. 48
a) Le C.U.D. de la matière sèche
b) La digestibilité des protéines brutes, des matières grasses et des minéraux

c) La digestibilité des fibres
α) La digestibilité des fibres des aliments
α_1) La cellulose brute
α_2) Le N.D.F.
α_3) L'A.D.F. et les hémicelluloses
α_4) L'A.D.L. et la cellulose
α_5) Discussion
β) La digestibilité des coques de féverolles
β_1) Les hypothèses de calculs
β_2) Les résultats
β_3) Discussion

CONCLUSION GENERALE..... p. 61

BIBLIOGRAPHIE..... p. 63

- INTRODUCTION -

Le chien de compagnie connaît un essor important et la pathologie canine s'enrichit de quelques affections fréquemment rencontrées chez son maître : constipation, obésité, diabète. Depuis de nombreuses années, les nutritionnistes incriminent la trop grande richesse énergétique de notre alimentation ainsi que sa carence en fibres végétales comme étiologie ou facteur favorisant les maladies précitées. Or, l'alimentation du chien évolue de la même manière que la nôtre.

A la lumière des études existant en médecine humaine et, plus rarement, en médecine vétérinaire, nous essaierons de définir la nature et l'intérêt des fibres, ainsi que leur impact sur la digestion du chien.

Première Partie

LES FIBRES

A. - LA DEFINITION DES FIBRES

Pour un chimiste, les fibres végétales représentent la cellulose et un botaniste comprendra : "un ensemble de microfibrilles dans une matrice complexe" (38). Or, actuellement, on inclut dans les fibres alimentaires d'autres composés que la cellulose, composés qui ne sont pas toujours fibreux.

1. - La fibre brute ou "crude fiber"

Historiquement, les travaux d'EINHOF (64) codifiés par la Station de Weende ont permis une définition des fibres par le biais de deux réactions chimiques : "C'est le résidu d'une extraction à l'acide dilué suivie d'une seconde extraction alcaline diluée" ou "crude fiber" (58).

Ce résidu comprend la lignine et une fraction de la cellulose (ou "cellulose incomplète" - 25). En fait, le résultat manque de précision et sous-estime l'importance des fibres (17, 67) : 50 % de la cellulose pourrait être perdue ainsi que 80 % des hémicelluloses et 60 % à 90 % de la lignine (47). De plus, il est difficile de préciser la nature des composés récupérés dans ce résidu d'extractions. Aussi, le terme de "crude fiber" est, de l'avis de nombreux auteurs, inutilisable pour les raisons précitées (53, 65).

2. - La fibre alimentaire ou "dietary fiber"

Le terme de fibre alimentaire a une référence physiologique.

(1) "Les fibres alimentaires sont les résidus des membranes des cellules végétales non hydrolysées par les enzymes digestives de l'homme" (58, 59).

Mais il existe d'autres éléments indigestibles que ceux formant les membranes des cellules végétales, tels les polysaccharides de stockage. Aussi introduit-on une notion de composition chimique dans la définition.

(2) "Les fibres alimentaires sont les polysaccharides des plantes et la lignine, résistant à l'hydrolyse par les enzymes digestives de l'homme" (59).

Mais cette nouvelle définition soulève des inconnues quant à la nature chimique de ce qu'elle englobe.

3. - La nature chimique des fibres

La présence de complexes lignocellulosiques oblige d'associer la lignine aux polysaccharides dans la définition des fibres (52). Mais il existe également des complexes avec des lipides, des protéines et de nombreux autres composés. On peut estimer que ces éléments ne rentrent pas dans la définition des fibres (6). Cependant, d'autres auteurs incluent dans les "fibres alimentaires" toute une série de corps (protéines liées à la cellulose et à la lignine, tannins...), car on ne peut pas les séparer par les méthodes de dosage usuelles (47).

Notre propos s'éloigne de la définition "physiologique" des fibres, qui se révèlent être une somme de constituants chimiques différents, aux propriétés physiologiques diverses et non pas un bloc homogène (67).

Le manque de précision ne fait qu'accroître lorsqu'on considère les apports extérieurs aux plantes en polysaccharides (tels le mucus intestinal, la chitine...) (58).

De plus, la digestion des fibres dépend de nombreux facteurs telles la cuisson préalable (provoquant l'apparition de composés indigestibles de Maillard) (65, 67) et les fermentations microbiennes (détruisant cellulose et hémicellulose) (3, 45).

Il faut se rendre à l'évidence qu'une définition précise des "fibres alimentaires" est actuellement illusoire. C'est ce manque de précision qui amène les critiques des enquêtes épidémiologiques de Burkitt (20, 67).

Seule la différence entre cellulose brute ("crude fiber") et glucides membranaires ("dietary fiber") est nette : la méthode de dosage de Weende (cellulose brute) sous-estime les fibres (47) et les méthodes de dosage actuelles des glucides membranaires (essentiellement méthodes de Van Soest) tentent de réduire ce problème. Par exemple, l'analyse d'un pain complet donne 2 % de fibre brute et 10 % de fibres alimentaires (67).

Les fibres alimentaires sont un concept et non pas une entité précisément définie : il s'agit du résidu de certaines extractions. Cette définition sera donc fonction de la méthode de dosage utilisée.

B. - LA CHIMIE DES FIBRES

Dans une étude succincte, nous nous proposons de passer en revue les principales entités chimiques rencontrées : les polysaccharides de structure et de réserve, la lignine.

1. - Polysaccharides de structure

a) La cellulose

La cellulose est un homopolymère de D-glucose β.1-4 (qui diffère de l'amidon à liaison α.1-4). La cellulose est organisée en polymères de 1.000 à 15.000 monomères à liaison β.1-4 et à liaison hydrogène intrachaîne ou interchaîne (32, 41, 56). Les chaînes sont parallèles, associées en fibrilles, puis en fibres en des zones cristallines (41).

La liaison β et les liaisons hydrogène permettent l'association en microfibrilles et donc les propriétés de flexibilité, de résistance à l'étirement et de non-solubilité (32).

Les liaisons β sont résistantes aux amylases animales (qui sont des α-glycosidases), mais elles sont attaquées par les β-glycosidases bactériennes : la cellulose est donc fermentescible par l'intermédiaire des bactéries (32, 41, 65).

b) Les hémicelluloses

Les hémicelluloses sont des chaînes polysaccharidiques de xylose (à liaison β.1-4), d'arabinose, d'acide glucuronique et de son 4-O-méthylester (32) : ce sont donc des homopolymères ou des hétéropolymères linéaires à branchements courts autour de la cellulose.

Certaines fractions sont carboxylées, acétylées ou méthylées (41).

Leur structure est amorphe et elles abondent surtout dans les céréales (32).

On distingue des hémicelluloses A et B en fonction de leur solubilité en solution alcaline, mais cette classification n'a aucun intérêt quant à leur digestibilité (64).

c) Les pectines

Les pectines sont formées par des chaînes de molécules d'acide galacturonique à liaison α.1-4, associées à du rhamnose (ose neutre), du galactose et de l'arabinose. Leur structure est amorphe (32). Avec des agents complexants du calcium tel l'E.D.T.A., il y a formation d'un gel insoluble et le pouvoir gélifiant dépend de la richesse en oses latéraux (32,41).

2. - Les polysaccharides de réserve

a) Les gommes et mucilages

Les gommes et mucilages sont des composés solubles dans l'eau dont la chimie diffère peu de celle des hémicelluloses (32). On y trouve diverses entités tels les alginates (41).

b) L'amidon

L'amidon est le principal polysaccharide de réserve. C'est un polymère du glucose à liaison α.1-4 (32). La liaison α est sensible aux enzymes animales et l'amidon est donc dégradé dans le tube digestif par les amylases pancréatique et salivaire (32).

Les fractions qui atteignent le gros intestin sont fermentées par les bactéries (64).

3. - La lignine

La lignine n'est pas un polysaccharide mais un polymère de phénylpropane à unités interconnectées de façon variable (32). Ce composé est très lié aux polysaccharides (41, 56) (car il y a lignification des espaces microcapillaires de la membrane polysaccharidique). La lignine donne le caractère rigide du bois.

La lignine résiste aux enzymes animales et bactériennes : elle n'est détruite que par l'acide sulfurique à 72 % (41, 64). On ne peut dissocier lignine et fibres alimentaires car les rapports polysaccharides-lignine sont très étroits. De plus, la lignine influe sur la digestibilité des végétaux par le rapport : $\frac{\text{lignine}}{\text{cellulose}}$ (64).

Naturellement, nous aurions pu évoquer ici les tannins, la cutine qui parasitent le dosage des fibres alimentaires. Le schéma n° I nous montre ce que l'on entend par fibres alimentaires.

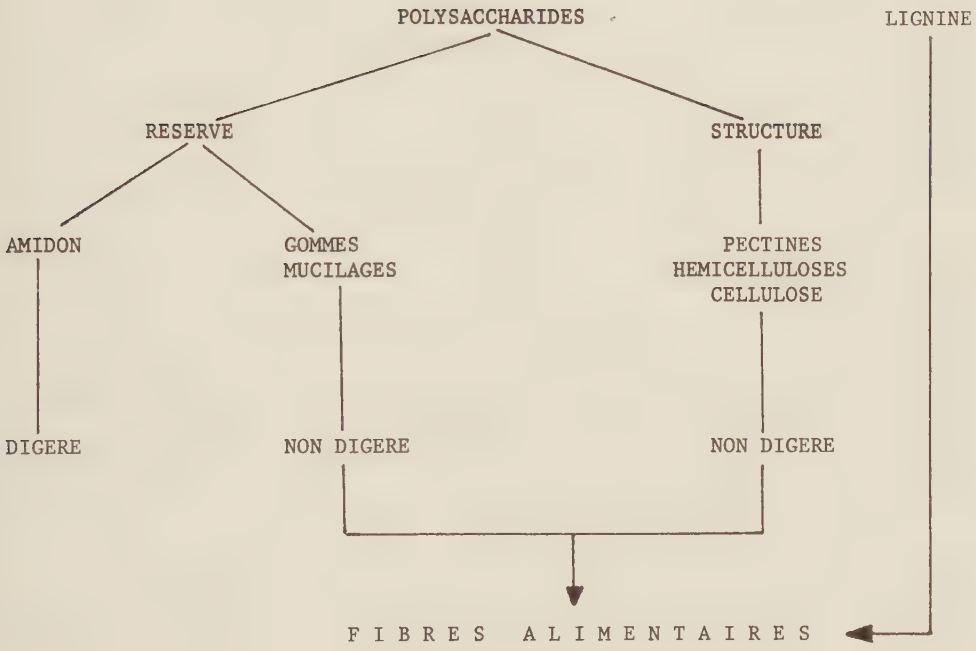


Schéma n° I

Définition des fibres alimentaires
d'après MINAIRE (32)

Des liaisons chimiques des polysaccharides dépend leur caractère digestible ou fermentescible dans le tube digestif : on retrouve ces données dans le tableau n° I.

Tableau n° I

Propriétés digestives des composés des fibres alimentaires

Substance	Liaison	Composants	Propriétés digestives
Oses	α.1-2	glucose, fructose	digestible
Amidon	α.1-4 α.1-6	glucose	digestible
Pectines	α.1-2 α.1-4	galactose, arabinose ac. galacturonique	résistants mais fermentescibles
Méthyl-cellulose	β.1-4	glucose	résistante mais fermentescible
Cellulose	β.1-4 liaison H-H	glucose	résistante mais fermentescible
Hémicelluloses	variable { β.1-4 { β.1-3 { β.1-6 associés à la lignine	xylose, arabinose, ac. glucuronique, mannose,	résistantes mais en partie fermentescibles
Lignine	---	---	résistante aux enzymes animales et à la fermentation

D'après Van SOEST et ROBERTSON (65) et Van ES et Van der MEER (13)

C. - LES PROPRIETES PHYSIQUES DES FIBRES

Les propriétés physiques varient en fonction de l'âge et de l'anatomie des plantes, ceci s'exprimant par des teneurs différentes en lignine et polysaccharides (12).

1. - Adsorption d'eau

Les polysaccharides forment avec l'eau un gel : le son, par exemple, retient cinq fois son poids en eau (67). Les pectines adsorbent l'eau bien plus que la cellulose. La lignine est très peu hygroscopique (12).

La finesse de la mouture intervient en diminuant la capacité de rétention d'eau du son (11).

Cette adsorption d'eau a pour conséquences une augmentation du poids et du volume des fèces ainsi qu'une dilution de ses différents constituants.

2. - Capacité d'échanges cationiques

Un régime enrichi en son provoque une augmentation des pertes fécales en sodium, potassium, calcium et magnésium (11, 67).

Une explication réside dans la possibilité de liaisons entre cations et groupements carboxyliques libres des polysaccharides acides (du type acides uroniques). Les fibres se comporteraient comme des résines échangeuses d'ions d'une capacité d'échange de 0,6-2,3 mEq/g (11).

Les études de MOD et ORY (33) sur les interactions *in vitro* entre les hémicelluloses du riz et le cuivre, le fer, le zinc, démontrent, par des expériences de relargage enzymatique, que le cuivre serait essentiellement lié aux protéines des hémicelluloses, le fer et le zinc étant liés à des protéines, des glycoprotéines ou des sucres.

Le cuivre serait chélaté avec les groupements aminés de la lignine et de l'arginine appartenant à la fraction protéique des hémicelluloses. La trypsine détruirait les liaisons avec les peptides et permettrait donc une résorption du cuivre dans les parties antérieures du tube digestif.

Le zinc serait chélaté avec la fraction polysaccharidique (xylose, arabinose, glucose). Sous l'action de l'hémicellulase de la microflore, il y aurait également résorption possible dans les parties postérieures du tube digestif. Le fer lié aux protéines et aux polysaccharides serait relargué sous l'action combinée des hémicellulases et de la trypsine.

3. - Adsorption de composés organiques

Les fibres adsorbent les acides biliaires non conjugués dans le côlon et donc les concentrent dans les fèces (12). Ces observations ont été notamment effectuées chez le rat (11, 36).

L'hypothèse primitive d'une liaison hydrophobe entre acides biliaires et lignine est battue en brèche. En effet, lorsqu'on enlève les pectines, la capacité de rétention des acides biliaires par les fibres diminue beaucoup : la lignine a une importance moindre que les pectines.

Le degré de méthylation, la viscosité et le poids moléculaire des pectines interviendraient. Les acides biliaires seraient liés aux fibres, diffuseraient moins bien du fait d'un réseau de fibres et des interactions pectines-acides biliaires au niveau de la muqueuse intestinale diminueraient l'absorption de ces mêmes acides biliaires.

Mais PFEFFER (37) démontre *in vitro* que les pectines pures ne se lient pas aux acides biliaires et que cette interaction serait due aux impuretés contenues dans les pectines du commerce.

Un régime enrichi en fibres diminue l'absorption du cholestérol et augmente l'excrétion des acides biliaires (impliquant ainsi une transformation active du cholestérol en acides biliaires), mais les mécanismes sont donc contestés.

Cette capacité d'adsorption de composés organiques (autres qu'acides biliaires) s'applique aux détergents ioniques dont l'action nocive serait ainsi contrée (Tween 20 - Tween 60) : est-ce une adsorption vraie ou un effet de dilution ? (12)

4. - Rôle de filtre

Un gel polysaccharidique peut développer un système de filtration permettant des échanges moléculaires (11, 12).

Au niveau du côlon, ce rôle est mis en évidence par le fait que deux marqueurs ne se retrouvent pas dans les fèces au même moment chez des sujets normaux à qui l'on administre un régime enrichi en son (11) :

Soit deux marqueurs : Cr_2O_3 insoluble dans l'eau

PEG soluble dans l'eau

Chez un sujet normal avec un régime sans fibres, on retrouve en même temps les deux marqueurs dans les fèces. Lorsqu'on soumet ces patients à un régime enrichi en son, il existe un décalage entre l'apparition des deux marqueurs dans les excréments : le PEG surviendra après Cr_2O_3.

5. - Attaque bactérienne

Les fibres sont sensibles à l'action des enzymes de la microflore intestinale et il en résulte une production d'acides gras volatils (A.G.V.). Le taux de lignine intervient en limitant le passage des bactéries dans les mailles du réseau et par suite, en diminuant l'action des enzymes extracellulaires (12).

Le schéma n° II résume les propriétés des différents composants des fibres.

Toutes ces propriétés ont des implications tant sur la physiologie que sur la pathologie de la digestion.

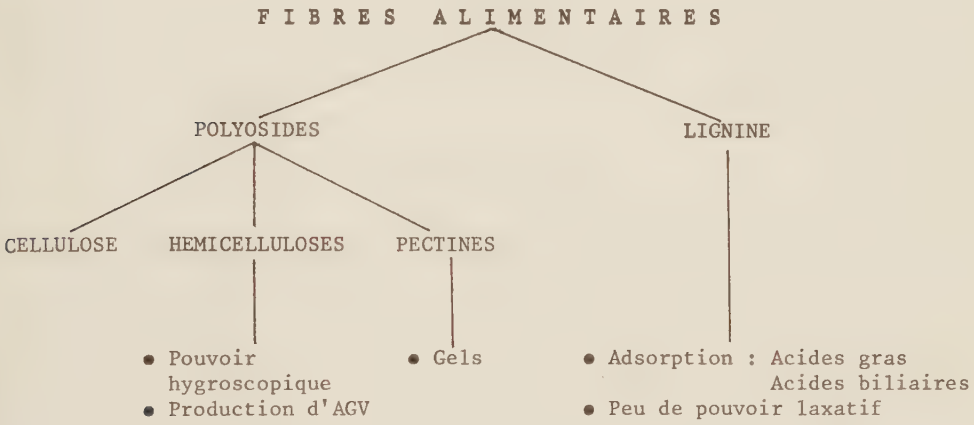


Schéma n° II

Propriétés physiques des fibres
d'après FREXINOS (16)

D. - INTERET DES FIBRES

1. - Les bases de l'utilisation des fibres

Les enquêtes épidémiologiques de BURKITT (7) dénombrent certaines affections propres aux civilisations à alimentation riche. Ainsi, les constipations, appendicites, tumeurs du tube digestif, varices, hémorroïdes, thromboses veineuses sont rares dans les contrées où le régime est à base de fibres comme en Afrique par exemple. TROWELL (57) ajoute à ces maladies le diabète et les troubles cardiaques ischémiques.

Si ces études différentielles entre groupes humains où il existe un trop grand nombre de facteurs de variations sont discutables, et si le mode d'action des fibres demeure bien souvent une hypothèse (17), nous pouvons néanmoins définir les intérêts majeurs des fibres alimentaires tant chez l'Homme que chez le chien.

2. - Les fibres alimentaires en pathologie humaine

Les fibres alimentaires jouent un rôle majeur dans la prophylaxie de la constipation et des cancers recto-coliques (6, 7, 17), grâce à un transit régularisé et rapide (4, 16, 17) (voir schéma n° III).

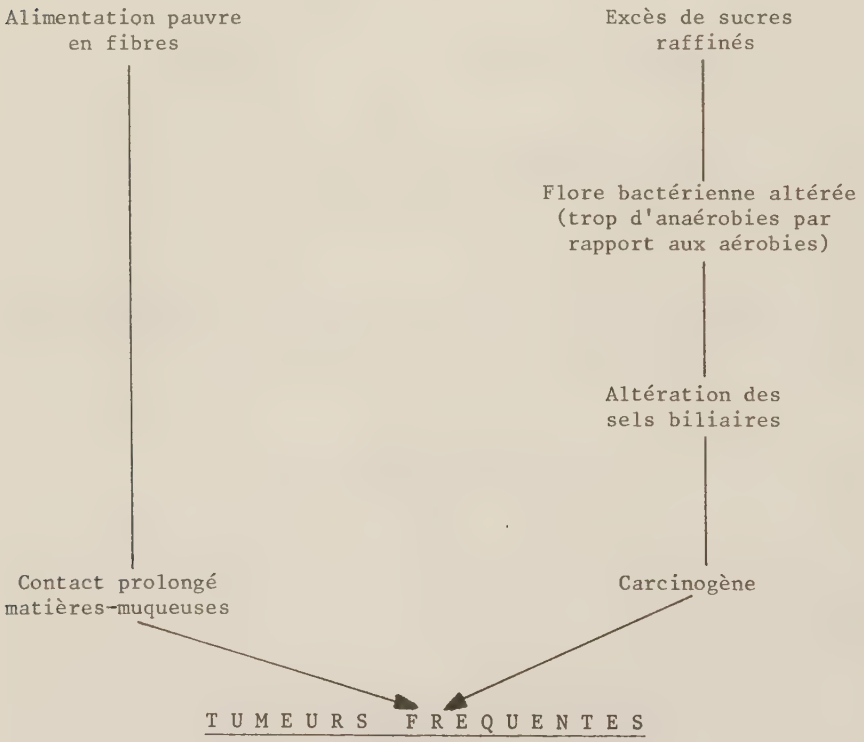


Schéma n° III

Fibres et cancers coliques
d'après BUGAT (6)

Un effet hypocholestérolémiant (10), doublé d'une excrétion accrue d'acides biliaires, diminueraient les cas de lithiase biliaire cholestérolique (16, 17). Les fibres alimentaires pourraient être à la base de la prophylaxie et du traitement hygiénique du diabète (49).

Actuellement, les indications d'un régime enrichi en fibres alimentaires sont en pathologie humaine :

- l'obésité (14,19),
- les constipations chroniques, fonctionnelles (17),
- les diverticuloses chroniques non compliquées (17),
- les colopathies fonctionnelles (17).

L'apport en fibres se fera par l'intermédiaire de fruits secs, de légumes ou de pain complet (17). L'éventuelle flatulence, secondaire à l'adjonction des fibres dans l'alimentation, doit disparaître progressivement (4, 22).

3. - Les fibres et la pathologie du chien

Trop peu d'études ont été effectuées chez le chien pour connaître l'impact des fibres sur la pathologie digestive de cette espèce. Le tableau n° II dresse un bilan exhaustif du traitement de diverses affections par la gomme de Sterculia (15).

L'effet des fibres alimentaires sur le transit semble tout aussi bénéfique que chez l'homme (8, 70). L'induction d'un équilibre entre flores aérobie et anaérobie permet d'éviter les phénomènes de putréfaction intestinale, étiologie des eczémas alimentaires (8, 9, 69).

L'indication principale en médecine vétérinaire est le traitement de l'obésité, affection fréquente chez les chiennes âgées sédentaires (9). Les fibres sont utilisées comme diluant de la ration dont on diminue ainsi la valeur énergétique sans affecter le volume d'aliment (9, 30, 31, 54, 69). En effet, 31 % des propriétaires de chiens obèses estiment leur animal normal : pour des raisons psychologiques, il sera préférable de diminuer la concentration énergétique de la ration en laissant son poids constant (9, 69). Ainsi, en ne couvrant que 50 % (31) à 60 % (69) des besoins énergétiques de l'animal, on obtiendra une baisse de poids appréciable de l'ordre de 2 % par semaine (31).

La quantité de fibres à ajouter varie en fonction des auteurs : en général 3 à 7 % sont conseillés, sous la forme de légumes verts représentant 50 % de la ration (8, 69, 70). Mais la santé de l'animal ne serait pas affectée par l'ajout de 14 % de fibres alimentaires (31).

Tableau n° II

Désordres traités chez le chien par l'administration de gomme de Sterculia

Affections	Réponse complète	Réponse partielle	Réponse négative	Nombre de cas
• Désordres intestinaux :				
— Atonie	2			2
— Colite, rectite	2		1	3
— Constipation	2			2
— Diarrhées				
- chroniques	1			1
- occasionnelles	4			4
— Entérite				
- bactérienne	2			2
- associée à une infection	1	1		2
- non spécifique	16			16
— Gastroentérite	2		1	3
— Occlusion	1		1	2
— Diverticulose rectale	1			1
• Hépatite subclinique	1			1
• Hyperplasie prostatique	2			2
• Glandes anales	4			4
• Troubles postopératoires				
— Sacs anaux	3			3
— Hystérectomie	1			1
TOTAL	45	1	3	49

d'après FENNELL (15)

Si l'intérêt hygiénique des fibres paraît incontestable, nous pouvons nous demander dans quelle mesure la digestibilité des autres nutriments ne serait pas abaissée et ceci dans des proportions telles que l'emploi des fibres alimentaires deviendrait inintéressant.

Deuxième Partie

LES FIBRES ALIMENTAIRES ET LA DIGESTION

A. - MOTRICITE DU TUBE DIGESTIF - ADAPTATION ANATOMOFONCTIONNELLE

1. - Estomac

La vidange gastrique serait rapide de par l'effet de volume des fibres déterminant une activité motrice importante (1). Mais les hémicelluloses ralentissent le transit gastrique chez le lapin (44) ainsi que la gomme de guar chez l'Homme (5).

2. - Intestin grêle

Les résultats sont très controversés. Il semble que l'effet des fibres soit fonction de leur nature chimique et de leur présentation (5). Ainsi, la cellulose diminue le flux intestinal et augmente le temps de transit car les contractions intestinales n'assurent pas la propulsion (vitesse de propulsion diminuée par deux). La gomme de guar augmente le flux et le temps de transit : il y aurait distension de l'intestin avec des contractions de faible amplitude et donc peu de propulsion. Après le repas contenant des fibres, les contractions sont plus fréquentes mais l'action des fibres est plus ou moins élective : le son augmente la fréquence des contractions jéjunales alors que la cellulose intervient à la fois sur le duodénum et le jéjunum (5).

3. - Gros intestin

Le temps de transit dans le côlon est très raccourci après un repas riche en fibres. Chez le chien, l'activité propagée devient prépondérante par rapport à l'activité localisée. Soit deux régimes extrêmes à 0 % de fibres et à 13,5 % de fibres chez le chien. Dans le premier cas, il n'existera que l'activité localisée avec pour corollaire la constipation. Dans le second cas, la diarrhée sera la conséquence de la seule activité propagée (44).

Si la cellulose diminue le débit jéjunal au tiers de sa valeur, elle multiplie par deux le flux au niveau du côlon (44). Cette action au niveau du côlon est liée à la taille des particules et une mouture fine du son par exemple, diminuera l'efficacité quant au transit intestinal qui sera moins rapide qu'avec du son moulu grossièrement. Enfin, la pression intracôlonique sera d'autant mieux minimisée que le son sera moulu grossièrement (24).

4. - Conclusions

En fait, les fibres ne sont pas des accélérateurs du transit, mais des régulateurs, diminuant les temps de transit élevés et les augmentant lorsqu'ils sont trop courts (17, 18, 44).

De plus, la réponse du tube digestif à un régime riche en fibres est double :

- à court terme, les modifications motrices envisagées interviennent
- mais à long terme, des modifications volumétriques ou "anatomo-fonctionnelles" apparaissent.

Chez le chien, un régime riche en hémicelluloses augmente le volume et le poids du caecum qui passe de 100 grammes à 180 grammes en 3 mois. Dès que le régime diffèrera de celui d'un carnivore, on aura une réponse physique par distension d'un viscère creux. Chez le rat, on note une capacité digestive accrue, avec un nombre de couches de fibres musculaires de 40 % supérieur à la normale lors de régime à 20 % de fibres (44).

B. - LA DIGESTIBILITE DES FIBRES

1. - Digestion enzymatique : destruction des fibres

La digestion des fibres alimentaires est partielle et varie en fonction de nombreux paramètres dont l'âge des animaux (la digestibilité des fibres augmente avec l'âge chez le chien et le porc), la cuisson (qui améliore la

digestibilité), la nature des fibres, le niveau d'apport et l'accoutumance (8).

Dans toutes les études sur la digestibilité des glucides membranaires, il faut prendre en compte l'existence d'incertitudes sur les mesures (8).

Chez le chien, cette digestibilité des fibres varie de 0 % à 68 %, avec pour moyenne 15 % à 40 % (8). La qualité de l'apport intervient : si les pommes sont digérées à 57 %, les céréales ne le sont que de 0 % à 6 % (1). La nature des polysaccharides influe grandement : si la digestibilité des pectines est de 100 %, elle n'est plus que de 90 % pour les hémicelluloses et tombe à 45 % pour la cellulose (1). Le facteur individuel est à l'origine de variations remarquables : 52 $\pm$ 5,5 % pour la cellulose en fonction des individus (40).

La digestion des fibres est très faible au niveau de l'estomac et de l'intestin grêle, et ceci d'autant plus que le degré de lignification croît (45). Cette digestion s'opère donc essentiellement sous l'action de la microflore du gros intestin (8, 40, 66). La caecotomie du rat ou du porc entraîne une diminution de la digestibilité de la cellulose. On observe les mêmes résultats lors d'administration *per os* d'antibiotiques ou de sulfamides (40). Chez le chien, la digestion des glucides membranaires s'effectue essentiellement dans le côlon.

2. - Produits formés

La flore intestinale du chien est surtout amylolytique : la digestion de l'amidon sera efficace, avec fermentation et production de méthane et d'hydrogène (40).

La flore cellulolytique donnera des acides organiques et carboniques. Leur production maximale dans le côlon est liée à la formation d'acides gras volatils (92 % des acides organiques) : acides propionique, acétique et butyrique. Le son, par exemple, donne une prédominance de l'acide acétique sur l'acide propionique (40).

Ces acides gras volatils ont un effet cathartique (ils participent à l'augmentation de poids des fèces) (44) et peuvent fournir de l'énergie (8).

3. - Destin des produits formés

Au niveau du gros intestin, il y a récupération des déchets de digestion de la microflore. Le glucose est peu absorbé car la flore le détruit en grande partie avec formation de CO_2. Par contre, il y a absorption d'acide lactique.

Les acides gras volatils donneraient de l'énergie utilisable au niveau du caecum. Cet apport énergétique reste faible car la cellulose est peu dégradée et le transit est rapide (8).

C. - INFLUENCE DES FIBRES SUR LA DIGESTIBILITE D'AUTRES ELEMENTS

Outre leur devenir propre, les fibres interviennent dans la digestibilité, et de manière générale dans le métabolisme, de nombreux principes alimentaires.

1. - Métabolisme protidique

Tant chez l'homme que chez l'animal, les résultats diffèrent largement selon les auteurs. Chez l'homme, SOUTHGATE et DURNIN (1) constatent une élimination fécale azotée supérieure à celle obtenue durant un régime sans fibres, avec en plus une moindre digestibilité apparente de l'azote.

Il semble que les fibres alimentaires n'aient aucune action chez le chien (8) et que les pertes fécales insignifiantes puissent être liées à l'activité microbienne (1).

2. - Métabolisme lipidique

Les pectines et la gomme de guar sont réputées pour leur action hypocholestérolémiante chez l'homme et l'animal (21, 56), d'où l'intérêt des fruits et de la gomme de guar comme épaississant des sauces. Mais cette action est souvent inexistante à court terme (56).

Des expériences effectuées avec du son (1, 4) et de la sciure de bois (8) n'ont pas confirmé les résultats précédents : aucune action n'a été observée (si ce n'est par KAY avec le son sur des sujets atteints d'hypertriglycéridémie - 23).

Donc, l'intervention des fibres sur le métabolisme lipidique, lorsqu'elle existe, se traduit par une élimination fécale accrue d'acides biliaires et une action hypocholestérolémiante.

3. - Métabolisme glucidique

Les fibres n'auraient aucune action ou diminueraient la digestibilité des glucides de réserve chez le chien : le problème est mal connu (8).

Par contre, de nombreuses études chez l'homme ont démontré que les fibres alimentaires entraînent une atténuation des pics d'hyperglycémie post-prandiale chez les personnes saines et les diabétiques (17, 22, 49, 68). Ce même phénomène se retrouve pour les flèches d'insulinémie après les repas (17, 22, 68). Les pectines (17) et la gomme de guar (68) sont particulièrement efficaces dans ce domaine.

Cependant, le mode d'action des fibres demeure hypothétique. La gomme agirait grâce à sa viscosité, à sa capacité de former un gel (17, 68).

En fait, il semble que les conséquences d'un régime riche en fibres sur la glycémie soient faibles : chez le porc, le remplacement d'une ration à base de maïs par une ration à 20-30 % de remoulures de son n'entraîne qu'une diminution de 10 à 20 % de la glycémie (44).

4. - Métabolisme des vitamines

Peu d'études existent sur ce sujet. Les pectines, en stimulant l'activité microbienne du gros intestin, induiraient un phénomène de compétition quant à l'utilisation de la vitamine B_{12}. Les bactéries, en utilisant cette vitamine pour leur métabolisme, diminueraient d'autant sa digestibilité.

5. - Métabolisme des minéraux

L'étude des propriétés physiques des fibres proposait une hypothèse quant aux interférences entre fibres alimentaires et minéraux. Voyons donc le résultat de ces interactions pour différents minéraux.

a) Calcium

Des régimes enrichis en son, dans du pain complet, entraînent des pertes calciques urinaire et fécale anormalement élevées. Cette excrétion est en relation avec l'existence de phytates (1, 13, 39) et d'acides uroniques se liant au calcium.

En pathologie vétérinaire, on signale surtout "l'ostéofibrose du cheval" recevant un régime riche en son (44).

Cependant, la prise quotidienne de 20 à 30 g de son par un homme n'entraîne aucune diminution de la calcémie (4, 17). De plus, FARRELL n'observe

aucune déperdition accrue de calcium urinaire ou fécal avec un régime à 16 g de son par jour chez l'homme (1).

b) Zinc

La cellulose et les hémicelluloses accroissent les pertes fécales en zinc. Les phytates du son peuvent négativer la balance du zinc (1, 19).

c) Fer

Il y aurait une élimination transitoire du fer (26). Cependant, SANDSTEAD ne met aucune variation en évidence chez l'homme (46).

d) Magnésium

Les résultats sont controversés : si SANDSTEAD (46) note une rétention anormalement basse avec des régimes enrichis en fibres, d'autres auteurs ne relèvent aucune variation (1).

e) Cuivre

Les travaux de SANDSTEAD ne font ressortir aucun effet des fibres sur le métabolisme du cuivre (46).

f) Phosphore

Un régime enrichi en son amène une élimination fécale accrue du phosphore (44). Ceci s'accompagnerait d'une réponse sérique avec baisse de la phosphorémie (1).

g) Sodium

La digestibilité du sodium est affectée par les fibres alimentaires (54) on note une excrétion fécale importante avec une moindre utilisation de ce minéral (26, 45).

Bien que les relations intimes entre fibres et minéraux soient mal connues, il semble que l'ingestion de glucides membranaires augmente l'excrétion de certains cations. Dans le gros intestin, sous l'action de la microflore, une partie des minéraux est récupérée et digestible (1).

6. - Métabolisme des médicaments

Les fibres végétales diminueraient l'absorption des médicaments. Cependant, on observe chez le rat une absorption accrue du paracétamol associé à un régime riche en pectines. Par contre, le son n'a aucun effet sur la digestibilité de ce produit.

Il existe donc des variations en fonction de la nature des fibres et leurs interactions avec les médicaments sont peu connues (17).

7. - Adsorption d'eau

Cette propriété physique a pour corollaire un phénomène observé depuis fort longtemps : l'augmentation du poids des fèces lors d'ingestion de repas contenant des fibres végétales. Il en découle un effet laxatif remarquable, notamment avec les pectines, alors que la lignine peu hygroscopique favoriserait plutôt la constipation (65). Les patients verraient leurs selles plutôt molles sans être toutefois liquides, avec une vidange rectale complète, indolore et parfois urgente ! (4, 10).

Ce pouvoir d'adsorption d'eau est lié à la taille des fibres végétales (17, 44) : des particules de son de plus de 11 mm retiennent 6,15 g d'eau par gramme de son, alors que des particules de taille inférieure n'adsorbent que 2,36 g d'eau par gramme de son (24).

A cette adsorption d'eau, s'ajoute l'appel osmotique créé par les acides gras volatils de dégradation bactérienne (17, 44, 67).

Paradoxalement, cette augmentation pondérale des fèces irait de pair avec un faible pouvoir de rétention d'eau, d'où une attaque bactérienne des fibres peu importante et un effet excito-moteur élevé (44). Cependant, il est à noter que c'est le pouvoir hydrophile qui détermine la possibilité d'une attaque bactérienne, et donc la production d'acides gras volatils à effet cathartique.

D. - LA BALANCE ENERGETIQUE

Les fibres alimentaires interviennent de deux manières différentes dans le métabolisme énergétique : nous distinguerons leur apport énergétique propre et leur action sur l'énergie globale de la ration.

1. - Apport énergétique des fibres

Tous les auteurs s'accordent à affirmer que l'apport calorique est faible (67) : 1 g de son donne 2 Kcal (17). Cette énergie serait métabolisée à 50 % dans le caecum, dans le meilleur des cas (17, 40), puisque certains auteurs pensent qu'elle n'est pas du tout utilisée. De là provient le terme employé par SOUTHGATE de "sucres inutilisables" ("unvailable carbohydrates") : les pentosanes verraient 0,6 à 2,1 % de leur énergie utilisée, tandis que pour la cellulose, ce serait seulement 0,03 à 0,38 % (51).

L'énergie métabolisable provient des acides gras volatils, produits de fermentation des sucres. Or, le degré de fermentation dépend de la nature des glucides : les légumes sont plus facilement dégradés que le son. De nombreux travaux effectués sur le son montrent une énergie récupérée à 5 %. Avec d'autres sources, on pourrait obtenir une utilisation énergétique des fibres d'environ 9 % : ceci démontre combien le terme de "sucres inutilisables" est discutable (65).

Le temps de transit chez l'homme est court et de nombreux sucres potentiellement fermentescibles se trouvent perdus (65).

2. - Utilisation énergétique de la ration

L'introduction de fibres dans les aliments diminue la digestibilité apparente de l'énergie dans la ration (50).

Deux phénomènes se combinent :

- le temps de mastication augmente et la prise d'aliments est retardée, diminuée, la satiété intervenant plus rapidement qu'avec un repas concentré ;
- l'effet de dilution des nutriments et un transit rapide empêchent leur bonne absorption. Il pourrait s'établir une barrière mécanique entre la muqueuse intestinale et les principes alimentaires, affectant ainsi leur digestibilité (19).

Le traitement de l'obésité de l'homme et du chien repose sur ces constatations : une dilution énergétique de la ration par des glucides membranaires abaisse l'apport global en énergie et limite l'absorption des nutriments énergétiques (9, 69, 70).

Seule une faible partie des fibres alimentaires est digérée chez le non-herbivore (monogastrique) et l'apport énergétique est faible. L'action des fibres sur la digestibilité des autres nutriments est nulle, ou du moins faible, mais souvent méconnue. Cependant, en dehors de cas rares (carences en fer et zinc en Iran dues aux phytates du pain complet, base de l'alimentation), il ne semble pas y avoir de pathologie en rapport avec la présence de fibres dans l'alimentation.

Troisième Partie

PARTIE EXPERIMENTALE

Cette expérimentation se propose d'évaluer sur des chiens l'effet de l'incorporation de coques de féverolles sur la digestibilité d'un aliment pour carnivore ainsi enrichi en fibres.

A. - MATERIEL ET METHODES

1. - Le protocole expérimental

a) Les chiens

Huit chiens de race Beagle vivant habituellement à l'extérieur, dans des enclos avec abris paillés, sont placés pour les besoins de l'expérience dans des cages à métabolisme individuelles.

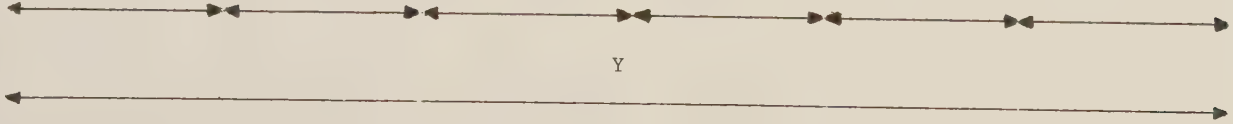
Chaque chien est son propre témoin et recevra donc trois régimes différents : un sans fibres ou témoin ; deux diversement enrichis en fibres. Les chiens demeurent durant trois périodes de quinze jours en cage à métabolisme, chacune de ces périodes étant précédée de quinze autres jours d'adaptation au nouveau régime.

Deux cages à métabolisme permettent une rotation de deux couples de chiens tous les quinze jours.

La mise en cage permet de récupérer les fèces, les urines et de comptabiliser les quantités d'eau bue et d'aliment ingéré.

Chaque chien mangeait dans sa propre gamelle et retrouvait la même cage à métabolisme lors de ses trois séjours.

Enclos	Cage	Enclos	Cage	Enclos	Cage
Régime témoin (T) 100 % d'aliment pour carnivore	Régime témoin (T)	Régime T + C 100 % d'aliment pour carnivore + 10 % coques de féverolles	Régime T + C	Régime 0,9 T + C 90 % d'aliment pour carnivore + 10 % coques de féverolles	Régime 0,9 T + C
Adaptation	Etude de digestibilité	Adaptation	Etude de digestibilité	Adaptation	Etude de digestibilité
X	X	X	X	X	X



X = 15 jours ; Y = 3 mois

Schéma n° IV

Succession des périodes pour chaque chien

Tableau n° III

Chiens d'expérimentation

Numéro de passage (par couple)	Nom du chien	Sexe	Année de naissance
1	TANGO	Mâle	1970
1	IRMA	Femelle	1973
2	ILEON	Mâle	1973
2	UREZA	Femelle	1971
3	TOBY	Mâle	1982
3	IGNACE	Mâle	1973
4	ICTERE	Femelle	1973
4	ILIOUCHINE	Mâle	1973

b) Les régimes

La ration de base est un aliment composé complet humide du commerce : c'est le régime témoin (T).

Un second régime est représenté par cette ration additionnée de 10 %/ M.S. (par rapport à la matière sèche) de coques de féverolles (T + C).

Enfin, une troisième expérimentation portera sur un ajout de 10 %/M.S. de coques (/M.S. de l'aliment témoin), à la ration témoin diminuée de 10 % de sa quantité initiale (0,9 T + C).

Les valeurs des principaux constituants de ces trois régimes sont consignées dans le tableau n° IV.

Le problème majeur résidait dans la détermination précise de la quantité et de la nature des fibres alimentaires incluses dans ces différentes rations : une méthode énoncée un peu plus loin essaye de répondre à cette question.

c) Rationnement

α) Distribution d'eau et d'aliments. - Les chiens en cage reçoivent une quantité déterminée d'aliment et de l'eau à volonté tous les matins vers 9 heures.

Tableau n° IV

Composition chimique des aliments

Eléments	T (Aliment témoin)		T + C (a)		0,9 T + C (b)	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Humidité	72,93	0	71,00	0	71,13	0
Matière sèche	27,07	100,00	29,00	100,00	28,87	100,00
Protéines brutes (N x 6,25)	8,93	32,99	9,44	32,54	9,37	32,47
Matières grasses (extrait éthéré)	6,03	22,30	6,04	20,85	5,89	20,42
Matières minérales	2,04	7,04	1,92	6,61	1,87	6,46
Cellulose brute de Weende	1,01	3,75	2,02	6,98	2,12	7,34
NDF	0,74	2,77	4,05	13,98	3,45	11,97
ADF	0,40	1,48	2,97	10,25	2,87	9,95
ADL	0,21	0,80	0,71	2,46	0,81	2,82
ENA	9,06	33,47	9,58	33,02	9,62	33,31

(a) Aliment T + 10 % de coques de féverolles/M.S. de T
(b) 90 % T + 10 % de coques de féverolles/M.S. de T

(1) p. 100/échantillon
(2) p. 100/matière sèche

Les rations sont distribuées 6 jours sur 7 (donc pas le dimanche) : ration R du lundi au vendredi, et 1,5 R le samedi.

Nous calculons :

$$R = \frac{132\ (\text{Poids animal})^{0,75} \times 7}{6,5}\ (\text{Kcal})$$

$$R \text{ en grammes d'aliments} = \frac{\text{Kcal}}{\text{valeur énergétique d'1 g d'aliment}}$$

Le poids des animaux restant à peu près constant durant l'expérimentation, les rations ne sont pas modifiées en quantité, sauf pour ILEON : sa ration est diminuée lors de son second séjour en cage pour supprimer les refus. Les poids d'aliments et de coques sont retranscrits dans le tableau n° V.

Tableau n° V

Poids d'aliment par animal et par régime
(R en grammes)
- Aliment + Coques -

Régimes / Chiens	T	T + C	0,9 T + C
TANGO	850	850 + 24,5	765 + 24,5
IRMA	770	770 + 22,2	693 + 22,2
ILEON	725	575 + 16,5	515 + 15,6
UREZA	535	535 + 15,4	481 + 15,4
TOBY	1.047	1.047 + 28,3	942 + 28,3
IGNACE	962	962 + 26,0	865 + 26,0
ILIOUCHINE	790	790 + 21,4	710 + 21,4
ICTERE	730	730 + 19,8	657 + 19,8

β) Le protocole quotidien. - Le matin à 9 heures, nous procédons à la récolte des fèces, de l'urine du jour prédédent, et à la pesée de l'eau de boisson résiduelle :

- Les urines sont pesées et un échantillon est prélevé en vue de la détermination de la quantité d'azote.

• Les fèces sont pesées, fractionnées, placées sous épiradiateurs, puis dans une étuve à 60°C jusqu'à poids constant. Enfin, les fèces ainsi séchées sont repesées puis conservées dans des bocaux étanches.

• Nous redonnons de l'eau de boisson après avoir pesé le restant de la veille.

• Nous pesons l'aliment refusé dans la ration qui vient d'être distribuée.

Enfin, tous les soirs, un nouveau passage permet de prélever les fèces émises dans la journée.

2. - Méthode de détermination des fibres dans les aliments et les fèces

a) But

L'analyse des fèces, tout comme celle des aliments, quant à leur teneur en fibres, est difficile car leur richesse en protéines rend inutilisables les techniques de recherche usuelles.

La recherche de méthodes d'analyse simples, rapides, fiables et capables de fractionner les différents glucides constitutifs des fibres, nous a conduit à utiliser la méthode des détergents de Van SOEST.

Le NDF et l'ADF sont déterminés à l'aide d'un appareil semi-automatique qui permet d'effectuer six analyses simultanément. Le NDF récupère les hémicelluloses et la lignocellulose, c'est-à-dire la majeure partie des fibres indigestibles par les monogastriques : les glucides de réserve sont éliminés. L'ADF isole la lignocellulose, préparant ainsi l'étape isolant la lignine (60, 61, 62, 63).

La cellulose brute de Weende ne peut être tenue pour une méthode fiable à cause de la destruction importante et variable en fibres, d'où une imprécision trop grande quant à la nature de ses résultats : ceci a déjà été développé auparavant. La cellulose brute a cependant été dosée dans les aliments et les fèces.

Afin d'alléger l'exposé, nous n'évoquerons pas en détail les méthodes désormais classiques de Van SOEST : elles sont résumées dans le tableau n° VI (38).

Tableau n° VI

Principe de la méthode de Van SOEST
(29)

Fraction	Réactif	Traitement	Produit
Résidu après N.D.F.	lauryl-sulfate de sodium + E.D.T.A. pH = 7,0	Ebullition 60 mn	Totalité des glucides membranaires
Résidu après A.D.F.	2 % de bromure de cétyl-triméthylammonium dans H_2SO_4N	Ebullition 60 mn	Lignocellulose et silice
Lignine	A.D.F. puis H_2SO_4 72 %	3 h à 20°C	Lignine
Cellulose	-	= A.D.F.-lignine	
Hémicellulose	-	= N.D.F.-A.D.F.	

b) Problèmes rencontrés

Les aliments pour carnivore sont riches en protéines et en extractif non azoté représenté essentiellement par l'amidon (cf. tableau n° IV). Les fèces, quoique dépourvues en principe d'amidon, possèdent des teneurs élevées en protéines brutes et en E.N.A. provenant des glucides membranaires non cellulosiques. Le dosage des fibres repose en fait sur une meilleure identification de l'E.N.A. par la méthode des détergents de Van SOEST.

Mais la richesse des fèces et des aliments en matières azotées, en amidon éventuellement, en tannins amenés par les coques de féverolles, empêche la filtration des réactifs de l'A.D.F. et du N.D.F. La recherche de réponses à ce problème technique motive l'étude qui va suivre avec tout d'abord l'analyse des causes.

α) Les protéines

La présence de protéines en grande quantité amène, sous l'effet de la chaleur, une véritable coagulation (28). Dans la méthode de Van SOEST, les protéines des fourrages sont éliminées en les solubilisant par les détergents (60) :

— sodium-lauryl-sulfate en solution neutre : NDF,

— tricétylammonium en solution acide : ADF.

Le sulfite inhiberait les réactions de Maillard, entre oses et acides aminés sous l'effet du chauffage, et casserait les ponts disulfure des protéines (34, 53, 62).

L'adjonction d'amylase à action protéolytique peut entraver les problèmes de filtration (34).

Malgré les améliorations apportées pour des fourrages, le protocole analytique ne suffit pas pour l'analyse des aliments et des fèces des chiens : une méthode enzymatique spécifique doit être envisagée.

β) L'amidon

L'amidon donne un gel avec le détergent neutre chaud : l'élimination de ce gel a suscité de nombreuses recherches. Van SOEST préconisait la réduction de l'échantillon de 1 gramme à 0,4 gramme (34). TERRY et OUTEN ont étudié l'action d'amylases de champignons à pH acide (55). En 1977, Van SOEST et ROBERTSON éliminaient ce gel pour l'adjonction d'α-amylase dans le tube et, après 10 minutes, la filtration reprenait (34, 42, 48). D'autres expériences sur l'α-amylase bactérienne donnaient de bons résultats (28, 43).

Nous aborderons le problème du gel d'amidon par deux voies différentes : l'action de la chaleur et une technique enzymatique avec l'α-amylase de *Bacillus subtilis*.

γ) Les tannins : la succession NDF puis ADF

Des essais comparatifs entre le son (dépourvu de tannins) et les coques de féverolles démontrent le problème de fiabilité quant à l'ADF et au NDF : le tableau n° VII expose ces résultats.

L'ADF conserve les tannins (les pectines et les composés azotés) et de ce fait se trouve surestimé, d'autant plus que les tannins forment avec les protéines des complexes insolubles (29). On obtient des résultats aberrants avec des ADF égaux ou supérieurs au NDF pour les coques de féverolles. Le NDF élimine les tannins et les pectines : aussi il semble préférable d'effectuer l'ADF sur le NDF plutôt que d'utiliser deux échantillons différents pour déterminer l'ADF et le NDF (29, 53). L'ADF trouvé à partir d'un NDF purifié de ses tannins et de ses protéines par le sodium-lauryl-sulfate permettra de quantifier les hémicelluloses (= NDF-ADF) avec plus de précision, sans faire rentrer en ligne de compte des complexes tannins-protéines.

Tableau n° VII

Analyse des fibres du son et des coques de féverolles par deux méthodes

	Son		Coques de féverolles	
	ADF sur NDF	ADF	ADF sur NDF	ADF
NDF	58,23	-	63,87	-
ADF	18,49	18,58	57,21	63,34
Lignine	3,56	4,10	2,22	6,88
Cellulose	14,93	14,48	54,99	56,46
Hémicelluloses	39,74	39,65	6,66	0,53

δ) Les lipides

Les détergents se concentrant dans la phase lipidique (53), toutes les manipulations relatées s'effectuent sur l'échantillon délipidé par épuisement à l'éther, par distillation continue durant 12 heures.

c) Méthodes envisagées

Le dosage des fibres passe par l'intermédiaire du NDF et de l'ADF successivement sur le même échantillon préalablement dégraissé.

Pour les aliments, comme pour les fèces, les mêmes méthodes sont expérimentées et il convient d'exposer les solutions envisagées.

α) Action de la chaleur

Sous l'effet du chauffage, à 100°C, l'amidon est partiellement hydrolysé. L'échantillon ajouté à de l'eau à 100°C, durant 1 heure, est ensuite filtré avant de subir le NDF. La filtration est améliorée mais, du fait d'une grande quantité d'amidon résiduel, d'une gélatinisation par diminution de la température à la fin du traitement, par phénomène de rétrogradation, les résultats demeurent trop élevés avec une filtration encore trop lente (voir tableaux n° IX et X).

β) Action de la trypsine

L'utilisation de la trypsine trouve son intérêt aussi bien avec les fèces qu'avec les aliments, tous deux riches en protéines.

La trypsine est une endopeptidase spécifique hydrolysant les liaisons carboxyle de l'arginine et de la lysine. Cette enzyme agit à pH neutre et ceci présente deux avantages :

- la trypsine pourra être employée de concert avec l'amylase bactérienne dans une solution tampon pH neutre ;
- le pH acide, amenant une destruction des hémicelluloses, est ainsi évité (28, 53).

La trypsine n'a aucune action, tant sur le son que sur les coques de féverolles : son action visera donc uniquement les protéines de l'aliment complet de base (Tableau n° VIII).

Tableau n° VIII

Composition chimique de la fraction glucidique
(g pour 100 g)

	X (1) (2)	100°C : 1 h (2)	Trypsine (2)	Amylase 1 h - 5 mg (2)
Son				
NDF	58,23	57,06	57,90	57,11
ADF	18,49	17,55	18,84	18,32
Lignine	3,56	3,82	3,95	4,09
Cellulose	14,93	13,73	14,89	14,23
Hémicelluloses	39,74	39,51	39,06	38,79
Coques de féverolles				
NDF	63,87	61,97	64,43	66,28
ADF	57,21	55,23	57,14	58,77
Lignine	2,22	1,21	2,80	3,08
Cellulose	54,99	54,02	54,34	55,69
Hémicelluloses	6,66	6,74	7,29	7,51

(1) X = ADF sur NDF

(2) échantillon d'amylase de 1 g

Les essais entrepris sur les fèces et les aliments démontrent l'insuffisance de cette enzyme seule à résoudre les problèmes techniques d'analyse des aliments très riches en amidon. Par contre, la trypsine seule convient pour purifier les fèces de leurs protéines, seul composé parasite dans ce cas. Sur la base de 200 mg de trypsine, l'échantillon a été ramené de 1 g à 0,5 g afin de dégager le maximum d'activité enzymatique sur un minimum de substrat protéique (voir tableau n° X).

Pour l'étude des aliments, les recherches sur la trypsine ont été menées de front avec celles sur l'utilisation de l'amylase, ces deux enzymes étant nécessaires à une bonne filtration des détergents et à une appréciation plus juste des fibres de la prise d'essai.

γ) Action de l'α-amylase

L'α-amylase employée pour éliminer le gel d'amidon, existant lors de l'analyse des aliments riches en amidon, est celle de *Bacillus subtilis*. Cette enzyme bactérienne agit à pH neutre, en association avec la trypsine. L'α-amylase catalyse l'hydrolyse des liaisons α-1-4, à l'exclusion des liaisons terminales. L'activité optimale de l'α-amylase de *B. subtilis* correspond à un pH de 6,0 et une température de 70°C. L'action est variable selon le substrat : l'empois d'amidon soumis à l'α-amylase voit une diminution rapide de sa viscosité, puis une apparition de sucres fermentescibles (glucose, maltose) mais, si cet empois veillit, les chaînes macromoléculaires se réorganisent et cet amidon rétrogradé devient plus résistant à l'attaque enzymatique. Enfin, l'hydrolyse de l'amidon granulaire est fonction de la pénétration de l'enzyme ou de l'attaque superficielle de ce grain.

Bien que cette amylase soit légèrement protéolytique (car non purifiée), elle ne suffit pas à déterminer la filtration lors de l'analyse des fèces et des aliments (voir tableaux n° IX et X).

Les essais développés ci-dessous portent sur la quantité d'α-amylase et le temps d'action nécessaires à l'analyse des aliments de chiens :

γ_1) La quantité d'α-amylase

• Le schéma décrit avec 1 mg d'amylase améliore la filtration sans résoudre parfaitement ce problème, et avec des résultats faux par excès (Tableau n° IX) :

1 g de prise d'essai
+ 200 mg de trypsine
+ 1 mg d'amylase
→ 40°C, 1 h → Filtration → NDF, 1 h → Filtration

• Avec 5 mg d'amylase et le même schéma, la filtration devient plus facile, mais avec le refroidissement des détergents lors de la filtration même, on a le phénomène de rétrogradation avec formation d'un gel (Tableau n° IX).

Dans le schéma présenté, les enzymes étaient ajoutées au NDF, dans les tubes chauffés à 40°C.

Le manque de résultats nous oblige à augmenter le temps d'action des enzymes.

γ_2) Le temps d'action

Toujours avec 5 mg d'amylase et 200 mg de trypsine pour une prise d'essai de 1 g, le temps d'action est fixé à 18 heures : l'amylase doit agir longtemps pour être efficace (29) :

- 18 heures à 40°C : l'échantillon ainsi traité subit ensuite les opérations classiques du NDF, puis de l'ADF ; la filtration est très bonne ;
- 18 heures à 40°C après ébullition de l'échantillon durant 30 minutes : on obtient une très bonne filtration. Cette sensibilisation de l'amidon par une ébullition, qui fait éclater les grains, n'est valable que dans certaines circonstances, car il semble qu'elle pourrait au contraire transformer l'amidon et diminuer l'efficacité de l'attaque enzymatique (29).

Cette méthode est excellente dans notre cas et le résidu obtenu ne se colore pas sous l'action du réactif de Lugol, à la différence de la méthode précitée sans ébullition préalable.

Mais les résultats sont peu différents et on utilisera le schéma 18 heures à 40°C, puis NDF-ADF, car les manipulations sont moins nombreuses (résultats dans le tableau n° IX).

d) Méthodes adoptées

α) Les fèces

L'action de la seule trypsine permet une bonne filtration et l'obtention de résultats satisfaisants.

L'échantillon (0,5 g) dégraissé sec, auquel on a ajouté de la trypsine (0,2 g), est mis dans les tubes de l'appareil effectuant le NDF. Le détergent neutre est versé et on stabilise la température du mélange durant 1 heure à 40°C.

Puis le tout est porté 1 heure à ébullition, au terme de laquelle la filtration s'opère facilement : l'échantillon est ensuite séché et pesé avant

de subir le NDF. De même, après séchage et pesée du résidu de l'ADF, on recherche la lignine par hydrolyse avec H_2SO_4 à 72 %. Puis le tout est minéralisé.

β) Les aliments

La prise d'essai de 1 g, additionnée de 0,2 g de trypsine et de 0,005 g d'amylase, est placée dans une étuve à 37°C pendant 18 heures. L'échantillon et les enzymes sont dans un tampon phosphate enrichi en toluène afin d'éviter tout développement bactérien intempestif. Il faut 20 cc de tampon de composition :

- 3,56 g KH_2PO_4
- 7,22 g $Na_2HPO_4 2H_2O$

ou

- 14,53 g $Na_2HPO_4 12H_2O$
- quelques gouttes de toluène

Puis l'échantillon est filtré sous un vide faible afin d'éviter le colmatage des pores. Enfin, on effectue classiquement le NDF, l'ADF, la recherche de la lignine et des minéraux sur la même prise d'essai.

Le sulfite et le décahydronaphtalène ne sont plus nécessaires dans ce schéma.

e) Discussion à propos des réactifs

α) Le décahydronaphtalène

C'est un antimousse dont l'utilité est mineure car dans ces analyses, l'ébullition est douce.

β) Le sulfite

Le sulfite attaque les protéines en cassant les ponts disulfure (35, 53). Mais le sulfite détruirait la lignine (34, 53).

En conséquence, des mesures comparatives ont été effectuées sur le son et l'épicarpe de tournesol variété REMIC riche en lignine (pourcentage de péricarpe par rapport au fruit : 29,81 % ; insoluble formique : 75,21 ; Weende : 61,40 ; Scharrer : 42,90).

Les résultats reportés dans le tableau n° XI montrent une diminution de la lignine récupérée aussi bien pour le son que pour le tournesol : ceci détermine la suppression du sulfite des différentes manipulations.

Tableau n° IX

Analyse des aliments

	100°C, 1 h	100°C Trypsine*	Trypsine*	Amylase**	Amylase*** Trypsine*	Amylase** Trypsine*	18 h, 40°C Amylase** Trypsine*
Aliment témoin (T)							
- NDF	29,04	26,55			25,35	15,24	3,57
- ADF	4,32	6,64			17,06	6,12	1,91
- Lignine	1,75	2,86	RESULTATS ERRONES	NE FILTRE PAS	15,97	4,11	1,03
- Cellulose	2,57	3,78			1,09	2,01	0,88
- Hémicelluloses	24,72	19,91			8,29	9,12	1,66
T + 0,1 C (a)							
- NDF	38,24		31,03			22,03	17,67
- ADF	11,76		15,41			14,48	12,95
- Lignine	2,04		4,20	NE FILTRE PAS		6,44	3,11
- Cellulose	9,72		11,21			8,04	9,84
- Hémicelluloses	26,48		15,62			7,55	4,72
0,9 T + 0,1 C (b)							
- NDF	38,22		26,99			19,45	16,10
- ADF	12,53		16,11			11,75	12,20
- Lignine	2,83		5,13	NE FILTRE PAS		2,84	2,30
- Cellulose	9,70		10,98			8,91	9,90
- Hémicelluloses	25,69		10,88			7,70	3,90

* Trypsine (200 mg) - ** Amylase (5 mg) - *** Amylase (1 mg)

(a) Aliment et coques de féverolles : T + 0,1 C

(b) Aliments et coques de féverolles : 0,9 T + 0,1 C

La colonne encadrée par ═══ représente les résultats de la méthode adoptée

Tableau n° X

Analyse des fèces

	100°C, 1 h	Trypsine 200 mg/1 g	Amylase	Amylase + Trypsine	Trypsine 200 mg/0,5 g	40°C, 18 h Amylase + Trypsine	40°C, 18 h Trypsine
Fèces 1							
- NDF	17,56	14,63		15,95	13,49	16,44	15,35
- ADF	12,11	10,63		11,86	9,37	10,63	10,09
- Lignine	4,64	2,73	AUCUNE FILTRATION	3,29	3,29	2,31	2,18
- Cellulose	7,47	7,90		8,57	6,08	8,32	7,91
- Hémicelluloses	5,45	3,67		4,09	4,12	5,81	5,26
Fèces 2							
- NDF	42,04	37,73	43,13	41,39	41,85	42,57	41,84
- ADF	36,29	32,27	34,16	35,32	35,27	34,26	34,83
- Lignine	6,45	8,54	4,48	6,96	6,57	5,05	5,45
- Cellulose	29,84	23,73	29,68	28,36	28,70	29,21	29,38
- Hémicelluloses	5,75	5,46	8,97	6,07	6,58	8,31	7,01

La colonne encadrée par ═══ représente les résultats de la méthode adoptée

Tableau n° XI

Action du sulfite sur la lignine

Echantillon	Son		Epicarpe de Tournesol	
Réactifs / Analyses	Sans sulfite	Avec sulfite	Sans sulfite	Avec sulfite
NDF	55,73	55,22	74,13	73,23
ADF	18,29	17,11	53,62	49,95
Lignine	4,37	3,58	17,84	15,92
Cellulose	13,92	13,53	35,78	34,03
Hémicelluloses	37,44	38,11	20,51	23,28

γ) Le cétyltriméthylammonium

Le cétyltriméthylammonium solubilise les protéines, en milieu acide, et c'est donc un composant de l'ADF.

Etant donné l'action de la trypsine et du sodium-lauryl-sulfate du NDF, on peut supposer que le cétyltriméthylammonium devient inutile dans l'ADF. Deux échantillons de fèces subissent les analyses développées précédemment, avec pour seule modification, la composition du réactif de l'ADF : l'un comprendra classiquement le cétyltriméthylammonium alors que l'autre en sera dépourvu. Chaque échantillon passera par les deux types d'ADF. Les résultats du tableau n° XII établissent un ADF supérieur lorsque le cétyltriméthylammonium n'est pas utilisé. Un dosage des protéines par la méthode de Kjedhal met en évidence des protéines dans le NDF qui se trouve surestimé, ainsi que les hémicelluloses.

Si la méthode enzymatique ne résoud pas définitivement tous les problèmes, elle a tout de même l'avantage de permettre l'analyse de composés riches en protéines parfois difficiles à éliminer (sont-elles liées intimement aux parois végétales ; sont-ce des composés insolubles de Maillard...).

Tableau n° XII

Action du cétyltriméthylammonium

Echantillon / Analyses	Fèces 1		Fèces 2	
Différences de réactifs	Avec cétyltriméthylammonium	Avec H_2SO_4N seul	Avec cétyltriméthylammonium	Avec H_2SO_4N seul
NDF	11,50	11,57	30,66	31,67
ADF	6,63	7,71	13,65	15,45
ADL	2,51	3,53	3,90	5,34
Cellulose	4,12	4,18	9,75	10,11
Hémicelluloses	4,87	3,86	17,01	16,22

δ) L'amylase bactérienne

Cette enzyme donnerait des pertes en hémicelluloses par scission des liaisons α-1-4 et relargage d'oligosaccharides solubles, donc non pris en compte par la méthode du NDF, déjà accusée de sous-estimer les composés solubles (dont une partie des hémicelluloses) (34).

En fait, c'est le pH acide qui amène cette destruction (28). De plus, ce sont essentiellement les enzymes d'origine mycélienne (*Aspergillus niger*) qu'affecte ce phénomène (28). Avec *B. subtilis*, on enregistre peu de pertes (29) après le traitement de 18 heures à 40°C :

Analyse du son

	Sans amylase	Amylase 1 h	Amylase 18 h 40°C
Hémicelluloses	38,11	38,79	37,09

Les différences sont dues essentiellement à la prise d'essai, bien plus qu'à l'action de l'amylase.

Par des méthodes enzymatiques utilisant l'amylase et la trypsine à pH neutre, il est possible d'adapter les méthodes de Van SOEST (NDF-ADF) à des aliments et des fèces de carnivores.

Bien que différents réactifs interfèrent dans la recherche de la lignine ou des hémicelluloses, les erreurs induites demeurent faibles (notamment vis-à-vis des incertitudes inhérentes aux manipulations et aux méthodes utilisées).

B. - RESULTATS ET DISCUSSION

Ce bilan en cage à métabolisme permet d'établir des constatations sur le comportement des chiens, la nature des récoltes (urines, fèces) et aboutit enfin aux études de digestibilité des aliments enrichis en fibres et de ces fibres elles-mêmes.

1. - Le comportement des chiens

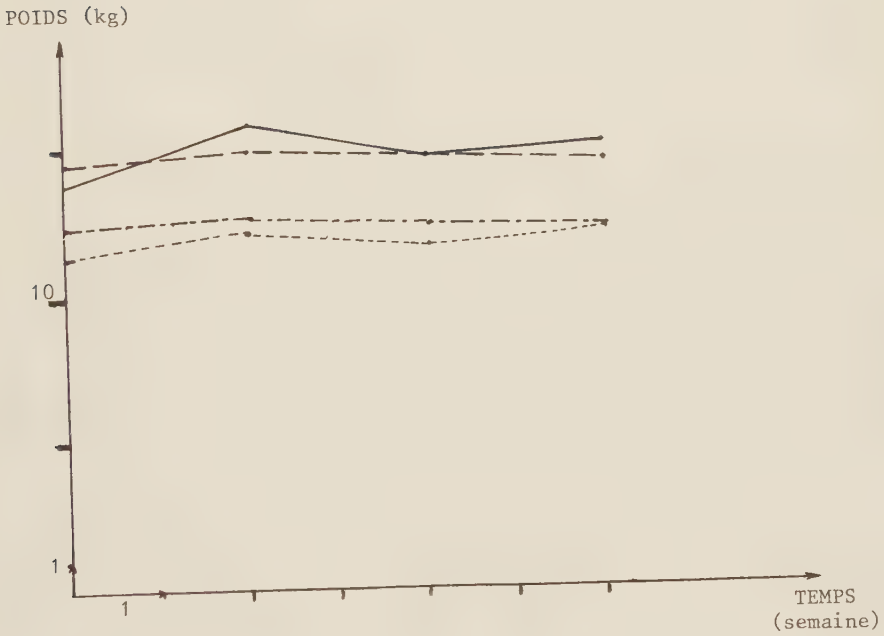
a) Etat de santé

Seule UREZA, pleine lors de son premier séjour en cage et parturiente au second, ne peut rentrer en ligne de compte dans les calculs de moyennes et de statistiques : les études suivantes portent donc sur sept chiens.

Aucune flatulence ou diarrnée n'ont affecté les chiens alors qu'ils recevaient les régimes enrichis en fibres. Un régime à 12-13 % (composition des aliments : tableau n° IV) de fibres végétales (NDF) semble convenir aux chiens sans que ceux-ci manifestent des vomissements ou autres troubles (31) pourtant décrits avec 14 % de fibres.

b) Niveau d'ingestion

Les chiens acceptaient volontiers les changements de régime et l'adjonction de coques de féverolles n'a pas entraîné de refus alimentaire. Seul TOBY délaissait un peu d'aliment, ainsi qu'ILEON, mais dans des proportions plus constantes et plus importantes motivant une réduction de sa ration. Hormis ce cas, le poids des animaux étant à peu près constant durant l'expérience, les rations n'ont pas été modifiées (voir courbe de poids).



Courbe de poids de 4 chiens

TOBY ———
IGNACE – – –
ILIOUCHINE –·–·–
ICTERE -----

2. - Les urines

Les quantités excrétées sont très variables en fonction de l'animal et du moment. Les quantités reportées en fonction des régimes sont les moyennes des sept chiens avec l'écart-type de la moyenne :

	T	T + C	0,9 T + C
Urine (g/jour)	438,32 ± 17,48	428,97 ± 21,09	396,56 ± 20,87

3. - Les fèces

a) Observations

Les fèces recueillies pendant la première semaine en cage sont le résultat d'une rétention : ceci se concrétise par une absence d'émission fécale pendant un à trois jours. Ceci fausse les rapports entre la première et la deuxième semaine en cage à métabolisme, si bien que les résultats sont exprimés pour quinze jours (et non pas semaine par semaine comme ce fut envisagé initialement).

Les excréments augmentent en quantité et semblent plus fermes par rapport à ceux obtenus durant le régime témoin. Les variations journalières observées durant le premier séjour en cage s'atténuent avec les régimes enrichis en coques de féverolles. La simple étude macroscopique des selles ne permet pas de distinguer d'éventuelles différences entre les fèces dues au régime (T + C) et les fèces dues au régime (0,9 T + C).

b) Teneur des fèces en matière sèche

Les compositions moyennes, reportées dans les tableaux n° XIII et XV, confirment l'approche subjective précitée : le taux de matière sèche est augmenté singulièrement dans les deux régimes enrichis en coques de féverolles. Les tests statistiques (Tableau n° XVI) prouvent la différence significative qui existe entre le régime T et le régime T + C quant à la teneur en matière sèche des fèces ; par contre, aucune différence n'apparaît entre les deux rations enrichies en fibres (tableau d'interprétation des statistiques : n° XIV).

Les coques de féverolles doivent avoir un pouvoir hygroscopique très faible et elles permettent d'éviter les fèces relâchées qui accompagneraient une alimentation trop riche en fibres, avec un transit trop rapide.

Tableau n° XIII

Composition des fèces (moyenne et écart-type)

Régimes / Données	T	T + C	0,9 T + C
Matière sèche	28,28 ± 0,92	34,10 ± 0,62	34,66 ± 1,40
Protéines brutes	37,19 ± 2,59	31,49 ± 2,19	29,56 ± 1,81
Cellulose (de Weende)	6,47 ± 1,59	22,67 ± 1,68	25,43 ± 1,75
Matières grasses	5,60 ± 0,07	3,46 ± 0,47	3,01 ± 0,49
Matières minérales	29,51 ± 4,07	17,84 ± 2,66	18,11 ± 2,23
NDF	11,43 ± 2,60	33,68 ± 3,68	35,37 ± 3,02
ADF	7,71 ± 1,64	28,20 ± 2,79	29,38 ± 2,42
ADL	2,46 ± 0,49	5,19 ± 2,06	5,10 ± 1,38
Cellulose	5,24 ± 1,65	23,01 ± 2,81	24,27 ± 1,87
Hémicelluloses	3,72 ± 1,14	5,48 ± 1,46	5,99 ± 1,46

T : régime de base

C : coques de féverolles

Tableau n° XIV

Interprétation des tests statistiques

	Student	Wilcoxon
Nombre de chiens	7	7
Seuil : valeurs critiques	* bilatéral t = 2,365	* bilatéral T = 2
	* unilatéral t = 1,895	* unilatéral T = 4
Appréciation	S* = significatif S*** = très significatif (t = 5,405 : bilatéral)	

Tableau n° XV

Quantités de fèces émises quotidiennement (toute donnée par rapport à la matière sèche). Moyenne et écart-type sur les sept chiens

Régimes / Données	T	T + C	0,9 T + C
Quantités de fèces émises par jour (en M.S.)	28,259 ± 3,242	48,559 ± 3,327	45,433 ± 3,650
Pourcentage de M.S. des fèces*	28,17 %	33,83 %	33,37 %
Nombre de jours de défécation/nombre de jours en cage	48/77	77/96	73/91

* Valeurs trouvées en pondérant les résultats des chiens en fonction de leur durée de séjour en cage

Tableau n° XVI

Statistiques sur les fèces : quantité journalière et pourcentage de M.S.

Valeurs	Quantités de fèces (MS/j)		Pourcentage de MS des fèces	
Régimes comparés / Tests	(1)	(2)	(1)	(2)
Test de Student	t = - 6,181 S***	t = 1,776 NS	t = 8,158 S***	t = - 0,4846 NS
Test de Wilcoxon	T = 0 (S* à 5 %)	T = 5 NS	T = 0 (S* à 5 %)	T = 9 NS

(1) (T) - (T + C)

(2) (T + C) - (0,9 T + C)

c) Les autres constituants des fèces

Pour chaque paramètre évoqué dans la composition des fèces, une étude préalable a prouvé l'identité existant entre la moyenne calculée des analyses fécales quotidiennes et l'analyse globale des fèces de la semaine. Les variations quotidiennes de la composition des excréments sont excessivement faibles. L'analyse des fèces se fait donc semaine par semaine.

Le NDF est multiplié par 3, l'ADF par 4 et l'ADL par 2 dans les fèces des régimes enrichis en fibres : les fibres, peu digérées, se retrouvent dans les excréments où elles diluent d'autres constituants qui voient leur teneur diminuée par rapport au régime témoin. C'est le cas des protéines brutes, des matières grasses et des matières minérales (Tableau n° XIII).

Bien que la méthode de Weende sous-estime les résultats, on retrouve un rapport de 3,5/4 entre les teneurs en fibres des fèces des régimes enrichis en glucides membranaires, par comparaison au régime témoin (Tableau n° XIII).

d) La quantité quotidienne de fèces émises

La quantité fécale excrétée chaque jour, ramenée à la matière sèche, s'accroît avec l'adjonction de coques de féverolles dans l'alimentation (voir tableau n° XV). Par contre, il n'y a aucune différence significative entre (T + C) et (0,9 T + C) (voir tableau n° XVI).

Le nombre de jours de défécation augmente également : le tableau n° XV présente ce résultat et un test du Chi-deux démontre que le régime T est significativement différent de (T + C) et (0,9 T + C).

Outre le fait que les chiens ne défèquent pas tous les jours, le protocole des prélèvements (matin et soir à heures fixes) induit des erreurs d'un jour sur l'autre selon que l'animal émet ses fécès avant ou après l'heure de passage. Donc, les moyennes de quantités par jour sont associées à un écart-type prenant en compte la durée de l'expérience et les calculs de digestibilité se basent sur les 15 jours en cage, limitant ainsi les variations quotidiennes.

4. - La digestibilité des aliments

a) Les coefficients d'utilisation digestive (C.U.D.) de la matière sèche

La digestibilité de la matière sèche chute d'environ 10 % (Tableau n° XVII) et de manière statistiquement significative (voir tableau n° XVIII) entre (T) et (T + C). Par contre, entre (T + C) et (0,9 T + C), la diminution de digestibilité moyenne de 1,36 % n'a rien de caractéristique avec les tests de Student et de Wilcoxon (Tableaux n° XVII et XVIII).

Ceci recoupe les observations précédentes d'une élimination fécale accrue de matière sèche lors d'ajout de coques de féverolles dans la ration. Les coques de féverolles augmentent la matière sèche peu digestible et diminue en celà la digestibilité globale de la matière sèche. ALLEN rapporte des résultats semblables lors d'utilisation de pulpes de betterave, de déchets de distillerie du maïs, dans l'alimentation du chien (2).

Cette altération de la digestibilité de la matière sèche peut être quantifiée par une équation de régression liant digestibilité de la matière organique et teneur en cellulose brute de la ration :

$$D.M.O. = 90,6 - 1,58\ C.B. \quad (8)$$

soit pour nos trois régimes respectifs, une digestibilité calculée :

$$T = 0,8467$$

$$T + C = 0,7957$$

$$0,9\ T + C = 0,7900$$

Les écarts de digestibilité observés sont plus importants que prévus :

$$(T) - (T + C) = 0,0822 \text{ au lieu de } 0,0510$$

$$(T + C) - (0,9\ T + C) = 0,0136 \text{ au lieu de } 0,0057$$

Tableau n° XVII

Digestibilité de la matière sèche
(moyenne, écart-type)

Régime / Chien	T	T + C	0,9 T + C
TANGO	0,8260 (0,0713)	0,7650 (0,0394)	0,7575 (0,0447)
IRMA	0,8914 (0,1086)	0,7861 (0,0519)	0,7607 (0,0730)
ILEON	0,8682 (0,0338)	0,8116 (0,0480)	0,7877 (0,0445)
ICTERE	0,8848 (0,0248)	0,7660 (0,0352)	0,7592 (0,0263)
ILIOUCHINE	0,8918 (0,0300)	0,8210 (0,0341)	0,7905 (0,0504)
TOBY	0,8523 (0,0305)	0,7685 (0,0253)	0,7688 (0,0380)
IGNACE	0,8631 (0,0400)	0,7944 (0,0326)	0,8013 (0,0420)
TOUS*	0,8700 (0,0146)	0,7878 (0,0143)	0,7742 (0,0179)

* Moyenne et écart-type de la moyenne sur les sept chiens

Tableau n° XVIII

Tests statistiques sur la digestibilité de la matière sèche

Régimes comparés / Tests	T - (T + C)	(T + C) - (0,9 T + C)
Test de Student	t = 9,1373 S***	t = 2,3053 NS
Test de Wilcoxon	T = 0 S*	T = 4 NS

Cependant, cette élimination de matière sèche dans les fèces, due aux fibres ajoutées, comprend-elle une perte augmentée de protéines brutes, minéraux et matières grasses.

b) La digestibilité des protéines brutes, des matières grasses et des minéraux

Les digestibilités de ces trois éléments sont diminuées avec la supplémentation en coques de féverolles, cependant les tests statistiques donnent des résultats variables en fonction de ces trois composés.

La digestibilité de la matière grasse ne subit aucun dommage significatif par rapport au régime témoin (voir tableaux n° XIX et XX).

Les matières minérales présentent une différence significative entre (T + C) et (0,9 T + C) avec le test de Student : la digestibilité diminue d'environ 5 %. Mais le test de Wilcoxon infirme le résultat et la conclusion de Student n'est donc pas valable.

On note des variations individuelles importantes, dans un régime donné entre chiens, et quant à l'évolution de la digestibilité sur les trois régimes :

Exemple :

	T		T + C		0,9 T + C
TANGO :	0,4070	→	0,4224	→	0,4552

(tendance à la hausse)

	T
IRMA :	0,3045

(10 % de moins que TANGO pour un même régime)

La digestibilité des protéines brutes chute avec l'addition de coques de féverolles (voir tableau n° XIX), mais seuls les tests unilatéraux caractérisent cette situation entre (T) et (T + C) (voir tableau n° XX) : le test unilatéral n'est valable que si au départ on émet l'hypothèse du sens de variation, ici *a priori* vers une baisse de digestibilité lorsque le taux en fibres augmente dans la ration. Mais le coefficient d'utilisation protéique (C.U.P.) et la valeur biologique (V.B.) ne sont pas affectés par les fibres. D'autres composés tels que les pulpes de betterave à 6-12 % dans la ration donnent un résultat identique (2) : l'utilisation protéique est normale et la digestibilité des protéines brutes est peu diminuée par l'ajout de fibres aux taux expérimentés.

Tableau n° XIX

Digestibilité des matières grasses, des minéraux et des protéines : moyenne sur tous les chiens (moyenne et écart-type)

Régimes / Composés	T	T + 0,1 C	0,09 T + 0,1 C
Matières grasses	0,9663 (0,0038)	0,9647 (0,0024)	0,9659 (0,0030)
Minéraux	0,4432 (0,0621)	0,4314 (0,0382)	0,3811 (0,0484)
Protéines brutes	0,8334 (0,0183)	0,7947 (0,0140)	0,7932 (0,0166)
C.U.P.	0,1219 (0,0366)	0,1415 (0,0363)	0,1358 (0,0421)
V.B.	0,1463	0,1781	0,1712

Tableau n° XX

Tests statistiques sur les digestibilités des matières grasses, minéraux, protéines

Test	Régimes comparés / Composés	(T) - (T + 0,1 C)	(T + 0,1 C) - (0,9 T + 0,1 C)
Student	Matières grasses	t = 1,0098 NS	t = - 0,6297 NS
	Minéraux	t = 0,8031 NS	t = 2,7356 S*
	Protéines	t = 2,3632 NS S* unilatéral	t = 0 NS
	C.U.P.	t = - 0,8238 NS	t = 0,2296 NS
	V.B.	t = - 1,0290 NS	t = 0,2210 NS
Wilcoxon	Matières grasses	T = 7 NS	T = 9 NS
	Minéraux	T = 10 NS	T = 3 NS
	Protéines	T = 3 NS S* unilatéral	T = 8 NS
	C.U.P.	T = 1 NS	T = 12 NS
	V.B.	T = 9 NS	T = 12 NS

La déperdition accrue de matière sèche ne se solde pas par une élimination importante et anormale de matières grasses, minéraux et protéines brutes. Les coques de féverolles ajoutées à la ration dans les conditions décrites ne nuisent pas à l'utilisation de ces principes alimentaires majeurs et, en retour, ne constituent pas une limite à l'incorporation de fibres dans l'alimentation des carnivores à des fins diététiques.

c) La digestibilité des fibres

α) La digestibilité des fibres des aliments

α_1) La cellulose brute

L'augmentation du taux de cellulose brute dans la ration se traduit par une baisse significative de sa digestibilité, aussi bien entre (T) et (T + C) qu'entre (T + C) et (0,9 T + C) (voir tableaux n° XXI et XXII). Les variations individuelles de digestibilité sont élevées pour un régime donné :

Exemple :

T : TANGO : 0,6779 (0,1319)
IRMA : 0,9042 (0,0958)

Par contre, la baisse de digestibilité avec l'ajout de fibres est une constante pour tous les chiens (sauf TANGO, entre (T + C) et (0,9 T + C).

Tableau n° XXI

Digestibilité moyenne des fibres sur les 7 chiens (moyenne - écart-type)

Régimes / Données	T	T + 0,1 C	0,09 T + 0,1 C
Cellulose brute	0,7872 (0,0236)	0,3564 (0,0463)	0,2448 (0,0596)
NDF	0,4905 (0,0559)	0,4904 (0,0349)	0,3418 (0,0526)
ADF	0,3517 (0,0710)	0,4230 (0,0397)	0,3461 (0,0517)
ADL	0,6074 (0,0449)	0,5617 (0,0371)	0,5958 (0,0336)
Hémicelluloses	0,6498 (0,0351)	0,7055 (0,0223)	0,3201 (0,0600)
Celluloses	0,0506 (0,1051)	0,3808 (0,0419)	0,2106 (0,0614)

α_2) Le N.D.F.

Les valeurs du NDF-ADF-ADL sont envisagées séparément car les évolutions sont différentes avec, là encore, des variations individuelles non négligeables :

Exemple :

C.U.D. (NDF) de T : ILEON : 0,2887 (0,1824)
IRMA : 0,7389 (0,2611)

En moyenne, entre (T) et (T + C), il n'y a aucune évolution de la digestibilité du NDF (voir tableaux n° XXI et XXIV). Seule la valeur moyenne de (0,9 T + C) est significativement différente de celles des deux autres régimes, avec une chute de 15 % de la digestibilité (voir tableaux n° XXI et XXIV).

α_3) L'A.D.F. et les hémicelluloses

La digestibilité de l'ADF semble croître de (T) à (T + C) (voir tableau n° XXI), mais ce n'est pas significatif (voir tableau n° XXIV), à la différence de la chute de digestibilité entre (T + C) et (0,9 T + C) (voir tableaux n° XXI et XXIV).

La même évolution existe entre les hémicelluloses (= NDF - ADF). Cependant, la chute entre (T + C) et (0,9 T + C) est très marquée : 38,54 % (voir tableaux n° XXI et XXIII).

Mais là encore, les variations entre chiens sont importantes :

Exemple :

C.U.D. (ADF) de T : ILEON : 0,1182 (0,2259)
IRMA : 0,6812 (0,3188)

α_4) L'A.D.L. et la cellulose

Aucune différence significative n'apparaît dans le C.U.D. de l'ADL entre les trois régimes (voir tableaux n° XXI et XXIV). Les différences entre chiens sont minimes (en dehors de TANGO pour le régime T + C avec un C.U.D. -ADL- = 0,1505 (0,1425): valeur très en dehors du cadre moyen).

La cellulose (= ADF - ADL) est digérée à des taux différant significativement entre (T) et (T + C) : augmentation de la digestibilité de 33,02 % (voir tableaux n° XXI et XXIII) ; et entre (T + C) et (0,9 T + C) : chute de 17,02 % (voir tableaux n° XXI et XXIII). L'ajout de coques de féverolles se solde par une digestibilité de la cellulose très améliorée demeurant à un niveau quatre fois plus élevé avec (0,9 T + C) qu'avec (T), et ceci malgré la chute entre (T + C) et (0,9 T + C).

Tableau n° XXII

Tests statistiques sur la digestibilité de la cellulose brute

Tests \ Régimes comparés	(T) - (T + 0,1 C)	(T + 0,1 C) - (0,9 T + 0,1 C)
Student	t = 5,4114 S***	t = 2,5734 S*
Wilcoxon	T = 0 S*	T = 2 S*

Tableau n° XXIII

Tests statistiques sur les digestibilités des hémicelluloses et de la cellulose

Tests	Composés \ Régimes comparés	(T) - (T + 0,1 C)	(T + 0,1 C) - (0,9 T + 0,1 C)
Student	Hémicelluloses	t = - 1,0502 NS	t = 6,0537 S***
	Celluloses	t = - 2,6129 S*	t = 5,5546 S***
Wilcoxon	Hémicelluloses	T = 8 NS	T = 0 S*
	Celluloses	T = 1 S*	T = 0 S*

Tableau n° XXIV

Tests statistiques sur les digestibilités du NDF-ADF-ADL

Tests	Composés \ Régimes comparés	(T) - (T + 0,1 C)	(T + 0,1 C) - (0,9 T + 0,1 C)
Student	NDF	t = 0,1295 NS	t = 5,9133 S***
	ADF	t = - 0,8973 NS	t = 2,3698 S*
	ADL	t = 0,7295 NS	t = 0,4502 NS
Wilcoxon	NDF	T = 12 NS	T = 0 S*
	ADF	T = 8 NS	T = 2 S*
	ADL	T = 6 NS	T = 9 NS

α_5) Discussion

L'évolution de la digestibilité de la cellulose brute fait apparaître une incapacité d'adaptation, à l'incorporation des fibres dans la ration, de la part du chien : la digestibilité des fibres chute brutalement. Les capacités des micro-organismes, utilisées au mieux lorsque le taux de cellulose brute est faible, seraient dépassées lors d'une arrivée trop importante de fibres dans l'intestin.

Le NDF, l'ADF et les hémicelluloses amènent d'autres conclusions : il existe un palier où la digestibilité reste bonne, à un niveau élevé pour des carnivores et l'apport de 10 % de fibres à 100 % de la ration (par rapport à la matière sèche) n'affecte en rien la digestibilité des fibres. Mieux, pour la cellulose, la digestibilité est multipliée par 7 environ. Mais si on remplace 10 % de la ration par 10 % de coques de féverolles, toutes les digestibilités chutent : les possibilités de fermentation sont dépassées et les fibres ne sont plus dégradées, ceci s'accompagnant d'une excrétion accrue de matière sèche fécale due essentiellement à ces fibres. Donc, dans certaines limites, il existe une capacité d'adaptation de la flore à la digestion des fibres chez les carnivores (66). Mais, même lorsque la digestibilité des fibres diminue (dans le régime 0,9 T + C), ceci ne nuit pas à la digestibilité d'autres composés tels que protéines, minéraux et matières grasses. De plus, même dans le régime (0,9 T + C), les digestibilités des fibres restent élevées en valeur absolue (voir tableau n° XXI).

L'ADL (= lignine, minéraux) a une digestibilité élevée et constante, quel que soit le régime, car le sort de la lignine ne dépend pas en théorie des micro-organismes.

β) La digestibilité des coques de féverolles

β_1) Les hypothèses de calcul

Le but est de déterminer dans quelles proportions les différents composés des coques de féverolles sont digérés. Seuls des artifices de calcul nous permettent de faire des approximations concernant ces digestibilités.

Deux voies de calcul, issues de deux hypothèses différentes, s'offrent à nous :

(1) Une première hypothèse est que la digestibilité de l'aliment du régime (T) n'est pas affectée par les coques de féverolles, auquel cas en comparant (T) et (T + C), on obtient, pour un composé "x" des coques :

$$CUD_x = \frac{(\text{Ingéré T + C - Ingéré T}) - (\text{Fécal T + C - Fécal T})}{(\text{Ingéré T + C - Ingéré T})}$$

d'où :

$$CUD_x = 1 + \frac{a \,.\, \%\, x_T\, (MS_1 + MS_2)\, (1 - CUD_T) - \%\, xF_{T+C}\, (F_1 + F_2)}{(MS_1 + MS_2)\, (\%\, x_{T+C} - a\, \%\, x_T)}$$

et :

$$\sqrt{CUD} = \frac{\sqrt{(a^2 \,.\, \%\, x_T^2 \,.\, MSI^2 \,.\, \sqrt{CUD_T^2} + \%\, xF_{T+C} \,.\, \sqrt{F_{T+C}^2}}}{(MSI)\, (\%\, x_{T+C} - a\, \%\, x_T)}$$

avec :

$MS_1 + MS_2$ = matière sèche ingérée en 1ère et 2e semaine de cage

F_1, F_2 = matière sèche fécale des deux semaines

$\%\, x_T$; T+C = % de "x" dans le régime (T) ou (T + C)

MSI = matière sèche moyenne ingérée par jour

$\%\, x_{F_{T+C}}$ = % de "x" dans les fèces du régime (T + C)

$\sqrt{CUD_T}$ = écart-type du CUD moyen de x avec le régime (T)

$\sqrt{F}^2_{T+C}$ = écart-type au carré de la matière sèche fécale moyenne émise lors du régime (T + C)

a = rapport de la quantité d'aliment (T) ingéré sur la quantité d'aliment (T + C) ingéré (le tout rapporté à la teneur en matière sèche)

Un test de Student significatif indique que le CUD de ce composé "x" est différent de zéro.

(2) Une deuxième hypothèse pose pour principe que la digestibilité des coques est nulle. On détermine donc un CUD théorique :

$$CUD_{coques} = 0$$

$$CUD_{théorique} = CUD_T \times \frac{a\, \%\, x_T}{\%\, x_{T+C}}$$

Si CUD_{T+C} est le CUD observé, on calcule $CUD_{observé} - CUD_{théorique} = CUD_{T+C} - CUD_{théorique}$. Un test de Student démontre si l'hypothèse "$CUD_{coques} = 0$" est justifiée ou non.

β_2) Les résultats

Le tableau n° XXV consigne les résultats relatifs au premier mode de calcul, alors que le tableau n° XXVI porte ceux découlant du second type de calcul.

Tableau n° XXV

C.U.D. des coques (si la digestibilité de T n'est pas changée) par rapport à T + C

Calculs / Composés	m [a]	$\sqrt{m}$ [a]	test de Student [a]
Matière sèche	- 0,0189	0,2532	- 0,0747 : NS
Cellulose brute	- 0,1514	0,0954	- 1,5870 : NS
NDF	0,4976	0,0456	10,9123 : S***
ADF	0,4319	0,0469	9,2003 : S***
ADL	0,5366	0,0569	9,5527 : S***
Hémicelluloses	0,7260	0,0382	19,0052 : S***
Celluloses	0,4049	0,0530	7,6460 : S***
Matières grasses	0,8854	0,1794	4,9353 : S***
Minéraux	- 0,4849	2,4678	0,1965 : NS
Protéines brutes	0,3598	0,3238	1,1114 : NS

a (moyenne des 7 chiens - écart-type - t de Student

t = S* = 1,96 (à 5 %)
S*** = 3,291 (à 1 °/₀₀)

Tableau n° XXVI

Comparaison $CUD_{théorique}$ de T + C à CUD observé avec l'hypothèse $CUD_{coques} = 0$

Calculs / Composés	CUD théorique	CUD observé - CUD théorique	t de Student
Matières sèches	0,7909	- 0,0031	- 0,2174 : NS
Cellulose brute	0,3845	- 0,0281	- 0,6064 : NS
NDF	0,0884	0,4100	11,7492 : S***
ADF	0,0462	0,3768	9,4921 : S***
ADL	0,1796	0,3821	10,3000 : S***
Cellulose	0,0040	0,3768	8,9925 : S***
Matières grasses	0,9395	0,0252	10,4808 : S***
Minéraux	0,4291	0,0023	0,0597 : NS
Protéines brutes	0,7681	0,0266	1,899 : NS
Hémicelluloses	0,2043	0,3821	10,3000 : S***

Les variations individuelles sont importantes, pour chaque composé, et les écarts-types du tableau n° XXV sont très élevés : ils prennent en compte l'incertitude sur CUD_T et sur CUD_{T+C} provenant de la quantité de fèces émises par jour, et les variations entre chiens.

Seuls les NDF-ADF-ADL, hémicelluloses, cellulose et matières grasses ont un CUD non nul. Pour la matière sèche, les minéraux, les protéines brutes et la cellulose brute, on ne peut conclure à un CUD différent de zéro.

Le tableau n° XXVI apporte des résultats semblables en tout point : l'hypothèse du "$CUD_{coques} = 0$" est fausse pour les composés caractéristiques des fibres (NDF-ADF-ADL, hémicelluloses, cellulose) et les matières grasses. La cellulose brute fait encore exception avec un CUD nul.

β_3) Discussion

Les coques de féverolles apportées sont digérées en partie. Une comparaison des tableaux n° XXI (colonne T + C) et XXV (colonne m) démontre les similitudes existant entre les CUD des coques et les CUD des fibres quant aux NDF-ADF-ADL, hémicelluloses, cellulose : les coques forment une partie importante des fibres du régime (T + C) et ce résultat était donc prévisible. Ceci permet de tester la fiabilité des calculs *a posteriori*.

On retrouve également l'évolution de la digestibilité de la cellulose brute qui diminue avec l'apport de fibres : le CUD de la cellulose brute des coques est nul (voir tableaux n° XXV et XXVI). Avec les régimes (T + C) et (0,9 T + C), non seulement les digestibilités chutent, mais également les quantités de cellulose brute, en valeur absolue, dégradée dans le tube digestif : les capacités de fermentation dépassées et le transit rapide, par effet excito-moteur, diminueraient les quantités de cellulose brute dégradée.

Cependant, les CUD des autres composés des fibres donnent d'autres résultats : une comparaison entre les régimes (T) et (T + C) démontre que les digestibilités des NDF-ADF-ADL et hémicelluloses restent constantes, tandis que celle de la cellulose s'accroît. Donc, une partie des coques est dégradée et ceci se retrouve grâce aux digestibilités calculées des coques de féverolles : les résultats sur la cellulose brute ne laissaient pas prévoir une telle conclusion. On peut à juste titre se poser des questions quant à la fiabilité de la cellulose brute de Weende.

Pour l'ensemble du protocole, afin de diminuer les incertitudes liées aux quantités de fèces émises quotidiennement (incertitudes se répercutant sur les CUD_T, CUD_{T+C}, $CUD_{0,9T+C}$, puis sur le CUD des coques), il serait préférable de laisser les chiens trois semaines en cage avec chaque régime et de ne pas tenir compte de la première semaine dans les calculs de digestibilité.

- CONCLUSION GENERALE -

L'enrichissement d'un aliment pour chien en coques de féverolles ou la substitution d'une partie de la ration par les coques n'affectent pas la santé des animaux. Il en résulte des fèces en plus grande quantité (phénomène négatif pour les propriétaires des chiens) et dures (caractère positif car facilitant leur élimination par les propriétaires). Les chiens défèquent facilement et plus fréquemment. Aucune pathologie digestive n'ayant été remarquée et les digestibilités des composés alimentaires majeurs étant conservées, l'incorporation des coques dans la ration est possible à des fins médicales.

Les coques sont dégradées dans des proportions importantes et le chien peut abriter une flore cellulolytique non négligeable. En fait, tout comme chez l'homme, ce sont les hémicelluloses qui sont les mieux digérées : les légumes auraient l'avantage du lest alimentaire avec celui d'être dégradables, produisant une énergie utilisable localement.

Les fibres induisent un équilibre de la flore intestinale, remédiant ainsi aux putréfactions avec pour conséquences la prophylaxie des eczémas ou de la maladie des poils rouges.

Mais ces études n'existent qu'à partir de l'analyse des fibres. La méthode de la cellulose brute de Weende est en opposition avec des processus analytiques plus fins : sa valeur est donc relative.

Aucune étude énergétique n'a été envisagée, bien que le rôle des fibres en tant que diluant énergétique soit fondamental.

°

° °

VU : Le Professeur de l'Ecole Vétérinaire
rapporteur

Professeur D. GRIESS

VU : Le Directeur de l'Ecole Vétérinaire

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE - DIRECTION

Professeur R. LAUTIE

VU : Le Président de la Thèse

Professeur Robert FEDOU
Service de Médecine Interne
Clinique Lieutaud
CHU PURPAN

Professeur FEDOU

VU et PERMIS D'IMPRIMER
Toulouse, le 5-3-1984
Le Président de l'Université Paul Sabatier

UNIVERSITE PAUL-SABATIER - TOULOUSE

Professeur D. BANCEL

- BIBLIOGRAPHIE -

1. - ALI (R.), STAUB (H.) - Nutritional significance of dietary fiber : effect on nutrient bioavailability and selected gastrointestinal functions. J. Agric. Food Chem., 1981, 29, 465-472.

2. - ALLEN (G.E.) - Evaluation of by-products feedstuff as dietary ingredients for dogs. J. Anim. Sci., 1981, 53 (6), 1538-1544.

3. - BAIRD (J.D.) - Diets on the development of clinical diabetes in man. Proc. Nutr. Soc., 1981, 40, 213-217.

4. - BRODRIBB (A.J.M.) - Treatment with bran. Brit. Med. J., 1976, 1, 424-430.

5. - BUENO (L.), PRADDAUDE (F.) - Effects of dietary fiber on gastrointestinal motility and jejunal transit time in dogs. Gastroenterology, 1981, 80, 701-707.

6. - BUGAT (R.) - Fibres et cancers coliques. Revue Méd. Toulouse, 1978, 14, 564-565.

7. - BURKITT (D.P.) - Epidemiology of large bowel disease : the role of fiber. Proc. Nutr. Soc., 1973, 32, 145-149.

8. - Cycle approfondi d'alimentation animale : l'alimentation du chien, 17 octobre 1980. Institut National Agronomique Paris-Grignon, Centre de Paris, Chaire de Zootechnie.

9. - DARKE (P.G.G.) - Obesity in small animals. Vet. Rec., 1978, 102, 545-546.

10. - EASTWOOD (M.A.) - Effects of dietary supplements of wheat bran and cellulose on faeces and bowel function. Brit. Med. J., 1973, 4, 392-394.

11. - EASTWOOD (M.A.) - Fiber and enterohepatic circulation. Nutr. Rev., 1977, 36 (3), 42-44.

12. - EASTWOOD (M.A.) - Vegetable fiber : its physical properties. Proc. Nutr. Soc., 1973, 32, 137-143.

13. - ES (A.J.H. van), MEER (J.M. van) - Method of analysis for predicting the energy and protein value of feed for farm animals. 31st Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Munich 1-4 sept. 1980, 47.

14. - EVANS (E.) - Bulking agents in the treatment of obesity. Nutr. Metab., 1975, 18, 199-203.

15. - FENNELL (C.) - The use of sterculia gum for controlling intestinal tone in the dog and the cat.
J. Small Anim. Pract., 1976, 17, 543-547.

16. - FREXINOS (J.) - Intérêt des fibres alimentaires en pathologie digestive.
Revue Méd. Toulouse, 1978, 14, 559-562.

17. - FREXINOS (J.) - Intérêt des fibres alimentaires en pathologie digestive.
Ann. Nutr. Alim., 1979, 33, 199-210.

18. - HARVEY (R.F.), POMARE (E.W.) - Effect of increased dietary fiber on intestinal transit.
Lancet, 1973, i, 1278-1283.

19. - HEATON (K.W.) - Food fiber as an obstacle to energy intake.
Lancet, 1973, ii, 1418-1421.

20. - HEGSTED (D.M.) - Food and fiber : evidence from experimental animals.
Nutr. Rev., 1977, 35 (3), 45-49.

21. - JENKINS (D.J.A.) - Effect of pectin, guar gum and wheat bran on serum cholesterol.
Lancet, 1975, i, 1116.

22. - JENKINS (D.J.A.) - Unabsorbable carbohydrates in diabetes : decreased postprandial hyperglycemia.
Lancet, 1976, ii, 172.

23. - KAY (R.M.) - Effect of wheat fiber on plasma lipids and faecal steroid excretion in man.
Brit. J. Nutr., 1977, 37, 227.

24. - KIRWAN (W.O.) - Action of different bran preparations on colonic function.
Brit. Med. J., 1974, 4, 187-189.

25. - LAURENT (B.) - Présence de polysaccharides non assimilables dans la banane.
Méd. & Nutr., 1982, 18 (2), 121-125.

26. - LEMONNIER (D.) - Données expérimentales récentes concernant l'intérêt diététique des fibres alimentaires.
Cah. Nutr. Diétét., XIII, 1, 59-64, 1978.

27. - Mac CANCE (R.A.), WIDDOWSON (E.M.) - The chemical composition of foods. Medical Research Council, Special Report n° 235, Londres, 1946, H.M. Stationery Off. Ed. In : "Les Facteurs d'Efficacité Alimentaires. Nutrition et Alimentation Tropicales", R. Jacquot (Ed.), FAO, Rome, 1957, p. 401.

28. - Mac QUEEN (R.E.) - Modification of the neutral-detergent fiber procedure for cereals and vegetables by using α-amylase.
J.A.O.A.C., 1979, 62, 3.

29. - MARLETT (J.A.), SUNGSOO (C.L.) - Dietary fiber, lignocellulose and hemicellulose contents of selected foods determined by modified and unmodified Van Soest procedures.
J. Food Sci., 1980, 45 (6), 1688-1693.

30. - MASON (E.) - Obesity in pet dogs.
Vet. Rec., 1970, 86, 612-616.

31. - MEYER (H.) - Ein Beitrag zum Vorkommen und zur Behandlung der Adiposität des Hundes.
Dtsche Tierärztl. Wschr., 1978, 85 (4), 133-136.

32. - MINAIRE (Y.) - Origine et nature de la cellulose et des fibres végétales alimentaires.
Bull. Soc. Sci. Vét. Méd. Comp. Lyon, 1978, 80, 1.

33. - MOD (M.R.), ORY (R.L.) - Chemical properties and interactions of rice hemicelluloses with trace minerals *in vitro*.
J. Agric. Food Chem., 1981, 29, 549-554.

34. - MOIR (K.W.) - Theory and practice of measuring the cell-wall content of food for ruminant and non-ruminant animals.
Lab. Pract., 1982, 31, 8.

35. - MONTE (W.C.), MAGA (J.A.) - Extraction and isolation of soluble and insoluble fiber fractions from the pinto-bean (*Phaseolus vulgaris*).
J. Agric. Food Chem., 1980, 27, 1169-1174.

36. - MOORE (J.H.) - Dietary roughage and atherosis in rabbits.
Brit. J. Nutr., 1967, 21, 207.

37. - PFEFFER (P.E.) - Molecular interactions with dietary fiber components. Investigation of the possible association of pectin and bile acids.
J. Agric. Food Chem., 1981, 29, 455-461.

38. - PONCIN (M.P.) - Contribution à l'étude d'un régime enrichi en son dans l'alimentation du chien. Thèse Méd. Vét., Toulouse, 1981, 114 p.

39. - REINHOLD (J.G.) - Effect of purified phytate and phytate rich bread upon metabolism of zinc, calcium, phosphorus and nitrogen in man.
Lancet, 1977, i, 283-289.

40. - RERAT (A.) - Digestion and absorption of carbohydrates and nitrogenous matters in the hindgut of the omnivorous non-ruminant animal.
J. Anim. Sci., 1978, 46, 1808-1837.

41. - RINAUDO (J.) - Structure et caractérisation des principaux constituants des fibres alimentaires.
Ann. Nutr. Alim., 1980, 34, 57-76.

42. - ROBERTSON (J.B.), Van SOEST (J.P.) - Dietary fiber estimation in concentrate feedstuffs.
J. Anim. Sci., 1977, 45, Suppl. 1, 245.

43. - ROTH (W.J.L.), WATTS (G.H.), NEWMAN (G.W.) - β-gluconase as an aid in measuring neutral detergent fiber in Barley karnels.
Cer. Chem., 58 (3), 245-246.

44. - RUCKEBUSCH (Y.) - Constituants alimentaires et motricité digestive.
Reprod. Nutr. Develop., 1981, 21, 5 B, 749-771.

45. - SANDBERG (A.S.) - Experimental model for *in vivo* determination of dietary fiber and its effects on the absorption of nutrients in the small intestine.
Brit. J. Nutr., 1981, 45, 283-294.

46. - SANDSTEAD (H.H.), KLEVAY (L.R.), JACOB (R.A.) - Dietary Fiber : Chemistry and Nutrition, G.E. Inglett & S.I. Falkehag (Eds), Academic Press, New York, 1979.

47. - SCHALLER (D.) - Analysis of dietary fiber.
Food Prod. Dev., 1977, 70-72.

48. - SELVENDRAN (R.R.), DU PONT (M.S.) - Simplified methods for the preparation and analysis of dietary fiber.
J. Sci. Food Agric., 1980, 31, 1173-1182.

49. - SIMPSON (H.C.R.) - High carbohydrates, high fiber diets for diabetes.
Proc. Nutr. Soc., 1981, 40, 219-225.

50. - SOUTHGATE (D.A.T.) - Caloric conversion factors. An experimental reassessment of the factors used in the calculation of the energy value of human diets.
Brit. J. Nutr., 1970, 24, 517-520.

51. - SOUTHGATE (D.A.T.) - Fiber and other unavailable carbohydrates and their effects on the energy value of the diets.
Proc. Nutr. Soc., 1973, 32, 131-136.

52. - SOUTHGATE (D.A.T.), HUDSON (G.H.), ENGLYST (H.) - The analysis of dietary fiber. The choices for the analyst.
J. Sci. Food Agric., 1978, 29, 979-988.

53. - Standardization of analytical methodology for feeds ; Proceedings of a workshop held in Ottawa, 12-14 Mars 1979, W.J. Pigden, C.C. Balch & M. Graham (Eds), I.D.C.R., 1980, 128 p.

54. - STOGDALE (L.) - Obesity in a dog with secondary hormonal imbalance.
J. S. Afr. Vet. Ass., 1980, 51 (1), 41-45.

55. - TERRY (R.A.), OUTEN (G.E.) - In : "Modification of the neutral detergent fiber procedure for cereals and vegetables by using α-amylase", R.E. Mac Queen (Ed.), J.A.O.A.C., 1979, 62, 3.

56. - THEANDER (O.) - The chemistry of dietary fiber.
Nutr. Rev., 1977, 35 (3), 23-30.

57. - TROWELL (H.) - Dietary fiber, ischaemic heart disease and diabete mellitus.
Proc. Nutr. Soc., 1973, 32, 151-157.

58. - TROWELL (H.) - Dietary fiber redefined.
Lancet, 1976, i, 967.

59. - TROWELL (H.) - Food and dietary fiber.
Nutr. Rev., 1977, 35 (3), 6-11.

60. - Van SOEST (J.P.) - Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. I. Preparation of fiber residue of low nitrogen content.
J.A.O.A.C., 1963, 46 (5), 825-829.

61. - Van SOEST (J.P.) - Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin.
J.A.O.A.C., 1963, 46 (5), 829-835.

62. - Van SOEST (J.P.) - Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying in yield of fiber, and lignin in forages.
J.A.O.A.C., 1965, 48 (4), 785-790.

63. - Van SOEST (J.P.), WINE (R.H.) - Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents.
J.A.O.A.C., 1967, 50 (1), 50-55.

64. - Van SOEST (J.P.), ROBERTSON (J.B.) - What is fiber and fiber in food.
Nutr. Rev., 1977, 35 (3), 12-22.

65. - Van SOEST (J.P.), Mac QUEEN (R.W.) - The chemistry and estimation of fiber.
Proc. Nutr. Soc., 1973, 32, 123-130.

66. - VISEK (W.I.), ROBERTSON (J.B.) - Dried brewers grains for mature and growing dogs.
J. Anim. Sci., 1976, 43 (2), 442-452.

67. - WEILL (J.P.), BAUMANN (R.) - Les fibres alimentaires : mythe ou réalité ?
Cah. Nutr. Diétét., 1978, 1, 47-57.

68. - WOLEVER (T.M.S.) - Guar gum and reduction of postprandial glycemia : effect of incorporation into solid food, liquid food and both.
Brit. J. Nutr., 1979, 41, 505-512.

69. - WOLTER (R.) - Alimentation et pathologie chez les carnivores domestiques. Note 1 : Conséquences pathologiques des erreurs alimentaires.
Revue Méd. Vét., 1978, 129 (11), 1441-1471.

70. - WOLTER (R.) - *Ibidem*. Note 2 : Principe d'une diététique palliative.
Revue Méd. Vét., 1978, 129 (12), 1615-1637.